

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри інженерії
енергосистем**

_____ Євген АНТИПОВ
(підпис)

«__» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Обґрунтування вибору газопоршневої електростанції як джерела розподіленої генерації»

Спеціальність **«Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка»**

Освітньо-професійна програма **«Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами»**

02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ

Гарант освітньої програми

К.Т.Н, доцент

_____ (підпис)

Світлана МАКАРЕВИЧ

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Д.Т.Н., професор

_____ (підпис)

Віктор КАПЛІН

Виконала

_____ (підпис)

Анастасія ЧУГАЄВА

Київ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
доцент, кандидат технічних
наук Євген АНТИПОВ
“30” жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Чугасвій Анастасії Михайлівні

Спеціальність «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлювальними джерелами»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи:

«Обґрунтування вибору газопоршневої електростанції як джерела розподіленої генерації»

затверджена наказом від «30» жовтня 2025 року № 2606 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «29» травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

нормативно-технічна документація у сфері електроенергетики; технічна документація газопоршневої когенераційної установки RSE 1200; робочий проєкт системи електропостачання торговельно-офісного комплексу; наукові та технічні публікації з питань розподіленої генерації та когенерації.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз нормативно-правової бази та технічного забезпечення джерел розподіленої генерації. 2. Аналіз автономних джерел електроживлення та обґрунтування вибору газопоршневої когенераційної електростанції. 3. Розрахунок електричних навантажень об'єкта та визначення необхідної потужності джерела розподіленої генерації. 4. Аналіз технічних характеристик і режимів роботи газопоршневої електростанції. 5. Аналіз режимів роботи системи електропостачання, перевірка кабельних ліній, втрат напруги та стійкості роботи газопоршневої установки в нормальних і аварійних режимах. 6. Аналіз системи комерційного обліку електроенергії та відповідності обладнання вимогам нормативних документів. 7. Розгляд техніко-економічних показників та питань охорони праці при експлуатації когенераційної установки.

Дата видачі завдання «30» жовтня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Віктор КАПЛІУН

Завдання прийняла до виконання

(підпис)

Анастасія ЧУГАСВА

РЕФЕРАТ

Чугаєва А.М. Обґрунтування вибору газопоршневої електростанції як джерела розподіленої генерації. 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Інжиніринг енергосистем з відновлювальними джерелами». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і енергозбереження. Кафедра інженерії енергосистем, група ІЕС-220016. - Київ: НУБіП, 2026

Стор. - 67; рис - 11; табл - 12; джерел - 24; додатків - 4.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконане обґрунтування вибору газопоршневої електростанції, як джерела розподіленої генерації для системи електропостачання торговельно-офісного комплексу.

У роботі проведено розрахунки електричних навантажень, визначено необхідну потужність джерела розподіленої генерації, виконано вибір когенераційної установки та аналіз режимів її роботи у складі існуючої системи електропостачання. Також виконано перевірку кабельних ліній, аналіз втрат напруги, перевірку термічної та електродинамічної стійкості елементів мережі, а також аналіз стійкості роботи газопоршневої установки в аварійних режимах.

Метою роботи є обґрунтування вибору газопоршневої електростанції як джерела розподіленої генерації та аналіз можливості її роботи у складі існуючої системи електропостачання. Об'єктом дослідження є процес роботи когенераційної газопоршневої установки у системі локальної генерації електроенергії.

Перелік ключових слів: газопоршнева установка, когенераційна установка, розподільча генерація, система електропостачання, електричні навантаження, релейний захист, коротке замикання, аварійний режим, електроенергія, кабельна лінія, розподільчий пристрій, стійкість енергосистеми.

ABSTRACT

Chugaeva A.M. Justification for choosing a gas-piston power plant as a source of distributed generation. 141- Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics”, educational program “Engineering of energy systems with renewable sources”. National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine. Educational and Scientific Institute of Energy, Automation and Energy Saving. Department of Energy Systems Engineering, Group IES-22001b. – Kyiv: NUBiP, 2026

Pages - 67; Fig. - 11; Table - 12; Sources - 24; Appendices - 4.

In the bachelor’s qualification work, the justification of the choice of a gas-piston cogeneration plant as a source of distributed generation for the power supply system of a shopping and office complex is provided.

The work includes calculations of electrical loads, determination of the required power of the distributed generation source, selection of a cogeneration unit and analysis of its operating modes within the existing power supply system. Cable lines were also checked, voltage loss analysis was performed, thermal and electrodynamic stability of network elements was checked, and stability of gas piston unit operation in emergency modes was analyzed.

The purpose of the work is to justify the choice of a gas piston cogeneration unit as a source of distributed generation and analyze the possibility of its operation within the existing power supply system. The object of the study is the operation process of a gas piston cogeneration unit in a local electricity generation system.

List of keywords: gas piston plant, cogeneration plant, distributed generation, power supply system, electrical loads, relay protection, short circuit, emergency mode, electric power, cable line, distribution device, power system stability.

3MIST

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	9
1.1. Законодавча нормативна база впровадження джерел розподіленої генерації	9
1.2. Класифікація автономних джерел живлення на основі двигунів внутрішнього згоряння для регіональних децентралізованих систем.....	17
1.3. Особливості режимів роботи децентралізованих джерел в регіональних енергосистемах.....	24
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР ГАЗОПОРШНЕВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	29
2.1. Розрахунок електричного навантаження.....	29
2.2. Технічні характеристики та обґрунтування вибору когенераційної установки.....	32
Висновки до 2 розділу	41
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ГАЗОПОРШНЕВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ.....	43
3.1. Організація системи комерційного обліку електроенергії.....	43
3.2. Організація внутрішніх мереж та підключення когенераційної установки..	47
3.2.1. Вибір та характеристика кабельної лінії.....	47
3.2.2. Перевірка пропускної здатності та втрат напруги	48
3.2.3. Перевірка кабельної лінії на термічну стійкість	50
3.2.4. Перевірка електродинамічної стійкості шин	52
3.3. Аналіз стійкості роботи газопоршневої установки в аварійних режимах	54
Висновки до 3 розділу	58
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1. Техніко-економічні показники когенераційної установки.....	59
4.2. Охорона праці та техніка безпеки при експлуатації когенераційної установки.....	59
Висновки до 4 розділу	61
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	69

Зам. інв. №	Висновки до 4 розділу 61							
	ВИСНОВКИ..... 63							
Підпис і дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 66							
	ДОДАТКИ..... 69							
Інв. № орг.						02.03-КР.2606"С" 2025.10.30 010 ПЗ		
	Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		
	Розробив	Чугаєва А.М.				Обґрунтування вибору газопоршневої установки як джерела розподіленої генерації		
	Перевірів	Каплун В.В.						
	Н.Контр.							
	Затвердив	Антипов Є.О.						
						Літ.	Аркуш	Аркушів
							5	
						ННІ ЕАІЕ		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок;

ДБН – Державні будівельні норми;

ДСТУ – Державний стандарт України;

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерське управління та збір даних);

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг;

АПВ – автоматичне повторне вмикання;

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії;

АЧД – автоматичне частотне ділення;

ГПУ – газопоршнева установка;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

КЗ – коротке замикання;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КЛ – кабельна лінія;

КСО – камера збірна одностороннього обслуговування;

ОСР – оператор системи розподілу;

ОСП – оператор системи передачі;

ПС – підстанція;

РЗА – релейний захист та автоматика;

РУ – розподільчий пристрій;

ТП – трансформаторна підстанція;

РУ-10 кВ – розподільчий пристрій напругою 10 кВ;

X'd – перехідний реактивний опір генератора;

X''d – надперехідний реактивний опір генератора;

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Стан енергетичної галузі України наразі це один з ключових та важливих моментів, особливо в умовах військового стану. Забезпечення надійного та безперервного електропостачання при постійних атаках, пошкодженнях об'єктів енергетичної інфраструктури спричиняють аварійні відключення, перевантаження енергосистеми змушують змістити фокус на розвиток розподіленої генерації. Зокрема, один із варіантів забезпечення безперервного електропостачання є використання газопоршневих когенераційних установок, які дозволяють одночасно виробляти електричну та теплову енергію з високим коефіцієнтом корисної дії. Ефективність їх використання зумовлена тим, що це дозволяє підвищити надійність електропостачання споживачів, зменшити навантаження на централізовані мережі та забезпечити резервне живлення об'єктів у разі аварійних режимів роботи енергосистеми. Також, газопоршнєві установки характеризуються високою маневреністю, можливістю роботи у паралельному режимі з мережею та відносно високою енергоефективністю.

Актуальність теми полягає у необхідності впровадження сучасних джерел розподіленої генерації для забезпечення стабільної роботи систем електропостачання, а також у доцільності використання газопоршневих когенераційних установок для покриття власних потреб споживачів та підвищення енергетичної безпеки об'єктів.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування вибору газопоршневої електростанції як джерела розподіленої генерації, а також аналіз можливості її роботи у складі існуючої системи електропостачання.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні завдання:

- проаналізувати нормативно-правову базу у сфері розподіленої генерації;
- розглянути основні типи автономних джерел живлення та особливості їх роботи;
- виконати розрахунок електричних навантажень об'єкта;

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

- обґрунтувати вибір газопоршневої когенераційної установки;
- виконати перевірку кабельних ліній та режимів роботи мережі;
- провести аналіз втрат напруги та перевірку стійкості елементів системи електропостачання;
- проаналізувати роботу когенераційної установки в аварійних режимах;
- розглянути питання охорони праці та техніки безпеки при експлуатації електроустановок.

Об’єктом дослідження є система електропостачання торговельно-офісного комплексу з використанням газопоршневої електростанції.

Предметом дослідження є режими роботи газопоршневої електростанції у генерації та її вплив на роботу електричної мережі.

Під час виконання роботи використано методи технічного аналізу, електротехнічних розрахунків, порівняльного аналізу технічних характеристик обладнання, а також методи аналізу режимів роботи електроенергетичних систем.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень при впровадженні когенераційних установок у системи електропостачання об’єктів цивільного та промислового призначення.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У роботі наведено таблиці, рисунки та розрахунки, що підтверджують технічну доцільність використання газопоршневої електростанції як джерела розподіленої генерації.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НОРМАТИВНОГО ТА ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1.1. Законодавча нормативна база впровадження джерел розподіленої генерації

Сучасний розвиток електроенергетики України характеризується поступовим переходом від централізованої моделі енергопостачання до децентралізованих систем, що базуються на використанні локальних джерел генерації. Така трансформація зумовлена необхідністю підвищення надійності електропостачання, зменшення втрат електроенергії при передачі, а також інтеграції відновлюваних та альтернативних джерел енергії. Особливої актуальності ці процеси набули в умовах нестабільності енергосистеми та зростання потреби у резервних джерелах живлення [15].

Таблиця 1.1

Порівняння централізованої генерації та газопоршневих когенераційних установок

Параметри	Централізована генерація (ТЕС)	Газопоршнева когенераційна установка
Виробництво енергії	Електроенергія	Електрична+теплова
Втрати при передачі	Значні	Мінімальні
Розташування	Віддалене	Біля споживача
ККД	30-45%	80-90%
Маневровість	Нижча	Висока
Робота в MicroGrid	Обмежена	Ефективна

З таблиці 1.1. можна зробити висновок , що використання газопоршневих установок є більш ефективним порівняно з традиційною централізованою генерацією.

Газопоршневі когенераційні установки є одним із найбільш ефективних видів розподіленої генерації – це система, яка виробляє електричну і теплову енергію одночасно, використовуючи для цього одне й те саме джерело палива.

Завдяки цій технології є змога досягти високого коефіцієнту корисної дії, оскільки до 80-90% енергії палива перетворюється на корисну роботу. З таблиці 1.1 можна зробити висновок, що традиційні електростанції зазвичай використовують лише 30-45% енергії, решта втрачається. Таким чином їх використання дозволяє суттєво зменшити втрати при передачі електроенергії, підвищити енергетичну незалежність об'єктів та забезпечити резервне електропостачання у разі аварійних режимів роботи енергосистеми.

Поширення газопоршневих когенераційних установок та інших джерел розподіленої генерації потребує відповідного нормативно-правового регулювання, оскільки їх функціонування пов'язане з приєднанням до електричних мереж, дотримання вимог електробезпеки та організацією комерційного обліку електричної мережі. В Україні сформовано необхідну законодавчу та нормативну базу, яка регламентує проектування, підключення, облік та експлуатацію таких установок.

Законодавча база України у сфері електроенергетики визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування ринку електричної енергії та впровадження об'єктів розподіленої генерації. Основним нормативно-правовим актом є Закон України «Про ринок електричної енергії», який регламентує діяльність учасників ринку, умови виробництва, передачі, розподілу та постачання електричної енергії [1]. Відповідно до цього закону, виробники електроенергії, у тому числі об'єкти розподіленої генерації, мають право працювати як у складі об'єднаної енергосистеми, так і автономно, за умови дотримання встановлених технічних вимог.

Нормативно-правове забезпечення функціонування об'єктів розподіленої генерації в Україні має багаторівневу структуру та включає законодавчі, нормативно-технічні й галузеві документи, що регламентують порядок проектування, приєднання та експлуатації генеруючих установок.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

БЛОК - СХЕМА



Рис.1.1. Структура нормативно-правового забезпечення функціонування об'єктів розподіленої генерації в Україні

Таким чином, вище представлений рисунок 1.1. демонструє послідовність нормативного регулювання у сфері розподіленої генерації, від загальних вимог до технічних положень. Це дозволяє забезпечити контроль за процесами проєктування, приєднання та безпечної експлуатації генеруючих установок.

Також важливим є закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу»

Сфера дії закону регулює відносини, що виникають у процесі використання когенераційних установок між їх власниками (користувачами), суб'єктами у сфері теплопостачання та учасниками ринку електричної енергії незалежно від форми власності та організаційно-правової структури. Дія Закону поширюється на когенераційні установки, введені в експлуатацію після набрання ним чинності [1].

Законодавство у сфері комбінованого виробництва теплової та електричної енергії регулюється законами України "Про ринок електричної енергії", "Про теплопостачання", "Про енергетичну ефективність", цим Законом та іншими нормативно-правовими актами [1,2].

Особливості використання та експлуатації когенераційних установок визначаються низкою технічних і організаційних факторів. До них належать

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання традиційних видів палива або альтернативних джерел енергії, а також можливість застосування додаткового палива залежно від режимів роботи установки. Об'єкти, на яких функціонують когенераційні установки, можуть здійснювати відпуск виробленої електричної енергії до місцевих (локальних) електричних мереж або використовувати її для забезпечення власних потреб [1].

Важливим фактором є також різноманітність енергетичних об'єктів, на базі яких споруджуються когенераційні установки, а також відмінності у вимогах до співвідношення обсягів електричної та теплової енергії, що виробляється такими установками. Це зумовлює необхідність індивідуального підходу до проектування та вибору режимів їх роботи залежно від умов експлуатації та потреб споживачів. Експлуатація когенераційних установок повинна здійснюватися за умов підтримання необхідного балансу потужності та належної якості електричної енергії. Це необхідно для забезпечення надійного функціонування енергетичної системи, стабільної роботи електричних мереж та запобігання неправомірному втручанню в роботу систем протиаварійної автоматики.

Державна політика у сфері використання когенераційних установок спрямована на розвиток та збалансоване впровадження когенераційних технологій у національній економіці. З метою підвищення екологічної безпеки та зростання ефективності використання палива держава сприяє перебудові існуючих теплогенеруючих об'єктів у вискоелефективні установки комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. Для підвищення надійності та безпеки енергопостачання на регіональному рівні створюють розподілені (місцеві) електрогенеруючі потужності. Також важливим напрямом державної політики є створення механізмів економічного стимулювання використання вискоелефективних когенераційних установок на підприємствах незалежно від форми власності та галузевої належності. Державний контроль у цій сфері забезпечується вільним доступом до інформації про стан когенераційних установок та обсягів виробництва теплової й електричної енергії.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Фінансування проектування, закупівлі технологічного обладнання, будівництва нових та реконструкції діючих когенераційних установок здійснюється за рахунок власних і залучених фінансових ресурсів підприємств. Крім того, джерелами фінансування можуть виступати кошти спеціальних рахунків технопарків, інвестиції фізичних осіб, у тому числі іноземних інвесторів, кредити енергосервісних компаній, а також кошти державного та місцевих бюджетів, спрямовані на розвиток енергетичної інфраструктури.

Важливим критерієм у сфері використання когенераційних установок є регулювання відносин власності. У процесі створення когенераційних установок, зокрема на базі діючих енергетичних об'єктів у промисловості та комунальному теплопостачанні, можуть залучатися інвестиційні кошти. За умови фінансової участі інвестора йому може надаватися право власності або співвласності на когенераційну установку відповідно до положень інвестиційної угоди.

Важливим елементом нормативного регулювання є галузеві кодекси, зокрема Кодекс систем передачі та Кодекс систем розподілу, які встановлюють вимоги до приєднання генеруючих установок до електричних мереж, правила їх експлуатації, а також вимоги до якості електроенергії [3,4].

Кодекс систем розподілу визначає вимоги та правила, які регулюють порядок взаємодії операторів систем розподілу, оператора системи передачі та користувачів електромереж у процесі підключення та експлуатації електроустановок.

Основною метою Кодексу є забезпечення надійного функціонування та розвитку системи розподілу, а також встановлення технічних вимог до нових і існуючих електроустановок.

Відповідно до вимог Кодексу, оператори систем розподілу та користувачі мереж повинні підтримувати електроустановки у належному технічному стані та забезпечувати їх відповідність нормативним документам і технічній документації виробників обладнання.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Згідно з цими документами, підключення об'єктів генерації здійснюється на підставі технічних умов, які видаються оператором системи розподілу. У технічних умовах визначаються параметри підключення, допустимі режими роботи, а також вимоги до релейного захисту, автоматики та систем обліку електроенергії [4].

Особливу роль у забезпеченні безпечної та надійної роботи електроустановок відіграють нормативно-технічні документи, такі як Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), які встановлюють вимоги до проєктування, монтажу та експлуатації електричних установок [5]. Відповідно до ПУЕ, усі генеруючі установки повинні відповідати вимогам щодо електробезпеки, захисту від коротких замикань, перевантажень та аварійних режимів.

Крім того, при проєктуванні та впровадженні джерел розподіленої генерації застосовуються державні будівельні норми (ДБН) та стандарти (ДСТУ), які регламентують вимоги до електропостачання об'єктів, електробезпеки, заземлення, блискавкозахисту та інших аспектів. Зокрема, у робочому проєкті, що розглядається, використано вимоги ДБН В.2.5-23:2010 щодо проєктування електрообладнання об'єктів цивільного призначення, а також ДСТУ, що регламентують заходи захисту від ураження електричним струмом [6,7]. Це свідчить про необхідність комплексного підходу до забезпечення нормативної відповідності при реалізації проєктів децентралізованої генерації.

Важливою складовою нормативного забезпечення є також вимоги до організації комерційного обліку електричної енергії 10 грудня 2024 року НКРЕКП схвалив Постанову, згідно з якою з 1 січня 2025 р. площадки комерційного обліку об'єктів із приєднаною потужністю від 150 кВт і більше або із середньомісячним споживанням понад 50 тисяч кВт·год підпадають під вимоги одного з пунктів Кодексу комерційного обліку електричної енергії (п. 4.4.11 Кодексу комерційного обліку електричної енергії, затвердженого постановою НКРЕКП від 14.03.2018 №311).

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Відповідно до цієї Постанови Оператор системи розподілу (обленерго) переводить такі площадки комерційного обліку на групу «А».

Площадка вимірювання групи «А» – площадка вимірювання споживача, визначена ОСР/НЕК відповідно до вимог Кодексу комерційного обліку електричної енергії.

АСКОЕ (Автоматизована система комерційного обліку електроенергії) – це комплексна система, призначена для обліку, контролю та управління електроенергією, яку споживають на промислових, комерційних, індустріальних та комунальних об'єктах. Головною метою АСКОВ є точне вимірювання та фіксація спожитої електроенергії, а також забезпечення контролю за режимами споживання.

Важливість АСКОВ для підприємств-споживачів обумовлюється не лише законодавчими вимогами, а ще й технічними та економічними міркуваннями.

Сьогодні підприємства мають можливість розраховуватись за спожиту електроенергію на основі показників точних засобів АСКОВ та можуть заощаджувати кошти за рахунок різниці в тарифах в різні години доби [8]. Наявність таких систем є обов'язковою умовою роботи об'єктів генерації в паралельному режимі з електричною мережею.

Окрему увагу слід приділити питанням релейного захисту та автоматики, які регламентуються відповідними нормативними документами та технічними умовами. Генеруючі установки повинні бути оснащені системами захисту від аварійних режимів, зокрема від коротких замикань, перевантажень, втрати напруги, асинхронного режиму та зворотної потужності [5]. У досліджуваному проєкті передбачено використання сучасних пристроїв релейного захисту, що забезпечують надійну роботу когенераційних установок у складі електричної мережі.

Враховуючи активний розвиток сучасних технологій розподіленої генерації, значний інтерес становить також міжнародний досвід використання когенераційних установок. Міжнародний досвід показує, що когенераційні установки є ефективним рішенням для сучасних систем розподіленої генерації.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У багатьох країнах світу когенераційні установки вже займають важливу роль та складову систем розподіленої генерації. Їх використання дозволяє підвищити енергетичну ефективність та покращити надійність електропостачання споживачів. Найбільш активний розвиток когенераційних технологій відбувається у країнах Європейського Союзу та США, де значна увага приділяється скороченню втрат енергії, зменшенню шкідливих викидів та підвищенню енергетичної незалежності [16, 17].

Однією з країн-лідерів у сфері когенерації є Данія. У цій країні комбіноване виробництво теплової та електричної енергії активно використовується у системах централізованого теплопостачання. Це дозволяє суттєво зменшити витрати палива та підвищити загальну ефективність енергетичної системи [18].

В Німеччині розвиток когенерації підтримується безпосередньо державою за рахунок програм модернізації, податкових пільг та стимулюючих тарифів. Ця держава є одним із провідних прикладів, де когенераційні установки застосовуються на промислових підприємствах, у лікарнях, житлово-комунальному секторі та дата-центрах. Значна частина таких установок працює на природному газі та біогазі [17, 19].

Щоб знизити навантаження на централізовані електричні мережі та підвищити надійність енергозабезпечення у Польщі когенерація стала одним з ключових напрямів модернізації енергетичної галузі. Газопоршневі установки використовують у системах теплопостачання міст та на промислових об'єктах для покриття власних потреб у тепловій і електричній енергії [16, 20].

Варто зазначити, що є країни, де когенераційні установки найчастіше застосовуються на великих промислових підприємствах, наприклад: у медичних закладах, студмістечках та системах типу мікромереж (MicroGrid). Одним з найбільш показових прикладів є США, там особливу увагу приділяють забезпеченню резервного живлення об'єктів критичної інфраструктури для непередбачуваних аварійних ситуацій або перебоїв у роботі енергосистеми [17, 21].

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Отже, міжнародний досвід підтверджує ефективність використання когенераційних установок у сучасних системах розподіленої генерації. Це свідчить про доцільність подальшого розвитку когенераційних технологій і в Україні. Адже їх впровадження дозволяє підвищити ефективність використання паливних ресурсів, знизити витрати на електро- і теплопостачання, забезпечити більш стабільну роботу енергетичних систем, а також зменшити кількість шкідливих викидів в атмосферу[16- 21].

Внаслідок ворожих атак на енергетичну інфраструктуру та дефіциту генеруючих потужностей, в Україні газопоршневі установки дуже активно впроваджуються для забезпечення резервом та для основного електропостачання об'єктів критичної інфраструктури. ГПУ використовують для лікарень, залізниць, водоканалів, промислових підприємств та об'єктів теплокомуненерго.

Отже, законодавча та нормативна база впровадження джерел розподіленої генерації в Україні є достатньо розвиненою та охоплює всі основні аспекти їх проєктування, підключення та експлуатації. Вона забезпечує умови для безпечної, надійної та ефективної роботи генеруючих установок, а також сприяє розвитку децентралізованих систем електропостачання. Разом з тим, подальший розвиток цієї сфери потребує вдосконалення нормативних документів з урахуванням сучасних технологій, зокрема когенераційних установок та систем типу MicroGrid.

З урахуванням усіх нормативних вимог та сучасних тенденцій розвитку розподіленої генерації було б доцільно розглянути основні типи автономних джерел живлення та визначити особливості їх використання у системах електропостачання.

1.2. Класифікація автономних джерел живлення на основі двигунів внутрішнього згоряння для регіональних децентралізованих систем

Автономні джерела електроживлення на основі двигунів внутрішнього

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

згоряння (ДВЗ) широко застосовуються в сучасних системах електропостачання, особливо в умовах децентралізації енергетики. Їх використання дозволяє забезпечити резервне або основне електроживлення споживачів, підвищити надійність електропостачання та зменшити залежність від централізованих мереж.

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) є основним типом силової установки[11]. Його призначення полягає у перетворенні хімічної енергії палива, що згоряє безпосередньо у робочому просторі двигуна, на механічну роботу обертання колінчастого вала. Особливістю ДВЗ є те, що процес згоряння палива відбувається всередині циліндрів, а тиск газів безпосередньо діє на поршень, створюючи корисну роботу. Це забезпечує компактність конструкції, достатньо високу питому потужність та можливість автономної роботи установки [11].

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) стали надзвичайно актуальними в сучасній енергетиці, передусім як резервні та аварійні джерела живлення, через низку техніко-економічних причин, що забезпечують стабільність енергосистем. Однією з основних причин їх актуальності є надійність та швидкість запуску, адже вони здатні запускатись автоматично за декілька секунд, у разі непередбачуваних обставин, пов'язаних з відключенням основної мережі.

Важливою перевагою ДВЗ є їх автономність, оскільки вони не залежать від стаціонарних електромереж та можуть працювати на різних видах палива, таких як дизель, бензин або природний газ. Це дозволяє використовувати їх як надійне резервне джерело енергії. Крім того, ДВЗ здатні швидко компенсувати дефіцит потужності та підтримувати баланс в енергосистемі під час пікових навантажень. Залежно від умов експлуатації ДВЗ-генератори можуть бути стаціонарними або пересувними, що робить їх універсальними для використання як на промислових об'єктах, так і для побутових потреб.

Особливо актуальними автономні джерела живлення на основі ДВЗ стали в умовах необхідності забезпечення енергетичної незалежності об'єктів критичної інфраструктури, промислових підприємств та систем резервного електропостачання. Їх використання дозволяє оперативно постачати електричну

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергію у випадках аварійних відключень, дефіциту потужності або нестабільної роботи централізованих мереж внаслідок аварійних ситуацій.

До основних типів автономних джерел живлення на основі ДВЗ належать дизельні електростанції (ДЕС), газопоршневі установки (ГПУ) та газотурбінні установки (ГТУ). Кожен із цих типів має свої технічні особливості, область застосування, а також переваги та недоліки, що визначає особливості їх використання в різних умовах експлуатації [9,11].

Дизельні електростанції є найбільш поширеним типом автономних джерел живлення. Вони відзначаються простотою конструкції, швидким запуском та можливістю роботи в широкому діапазоні навантажень. Основною сферою їх застосування є резервне електропостачання об'єктів різного призначення. Водночас до недоліків ДЕС можна віднести високі експлуатаційні витрати, пов'язані з вартістю дизельного палива, а також підвищений рівень шуму та викидів шкідливих речовин [9].

Газопоршневі когенераційні установки, також відомі як установки комбінованого виробництва тепла та електроенергії (Combined Heat and Power, CHP), є технологіями, які одночасно виробляють електроенергію та теплову енергію з одного джерела палива[10]. Вони зазвичай працюють на природному газі або біогазі, хоча можуть адаптуватися до різних видів палива. Завдяки одночасному виробництву електричної та теплової енергії когенераційні установки мають високий загальний ККД, що досягає 80-90%, порівняно до 40% ефективності традиційних електростанцій[10, 11]. Такий приріст ефективності, в поєднанні зі здатністю виробляти енергію «на місці», робить газопоршневі когенераційні установки привабливим варіантом для різних сфер застосування в енергетичному секторі України.

Однією з основних переваг газопоршневих когенераційних установок є їх здатність підтримувати децентралізоване виробництво енергії. Замість того, щоб покладатися виключно на великі централізовані електростанції, ці установки можна встановлювати ближче до місця споживання, наприклад, на промислових

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

об'єктах, у житлових комплексах, лікарнях та університетах. Це зменшує втрати під час транспортування та підвищує стабільність мережі, роблячи енергосистему більш стійкою.

Газопоршневі установки, на відміну від централізованих електростанцій розташовані безпосередньо поруч із споживачем, це дозволяє зменшити витрати при передачі електроенергії та підвищити надійність.

Газопоршневі когенераційні установки мають також екологічні переваги. Якщо порівнювати з традиційними методами виробництва електроенергії, такі установки забезпечують менший рівень шкідливих викидів [10]. Завдяки більш ефективному використанню палива та утилізації відпрацьованого тепла ці системи виділяють менше вуглекислого газу на одиницю виробленої енергії.

Крім того, використання біогазу як джерела палива сприяє створенню циркулярної енергетичної економіки, перетворюючи органічні відходи на цінний енергетичний ресурс. Це відповідає зобов'язанням України щодо досягнення міжнародних кліматичних цілей і зменшення вуглецевого сліду.

Завдяки одночасному виробництву електроенергії та тепла з одного джерела палива ці системи можуть знизити енергетичні витрати для промислових підприємств, бізнесу та муніципалітетів. Висока ефективність когенераційних установок означає, що для виробництва такої ж кількості енергії потрібно менше палива, що призводить до довгострокової економії та більш стабільного енергопостачання. Газопоршневі установки складаються з таких елементів: газовий двигун внутрішнього згоряння, система подачі газу, система охолодження, синхронний генератор, теплообмінне обладнання та система автоматичного керування. Газопоршневий двигун працює на природному газі або біогазі, при цьому виробляючи механічну енергію, яка передається на генератор для перетворення в електричну енергію. Паралельно, тепло, що утворюється в процесі роботи двигуна, утилізується в теплообмінниках для забезпечення тепlopостачання[22]. Це дозволяє значно підвищити загальний коефіцієнт корисної дії установки.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



Рис.1.2. Принцип роботи газопоршневої когенераційної установки

З рисунка 1.2. видно, що газопоршнева когенераційна установка забезпечує одночасне виробництво електричної та теплової енергії. Основним елементом установки є газовий двигун внутрішнього згоряння, механічна енергія якого передається генератору для виробництва електричної енергії. Відпрацьоване тепло направляється до теплообмінника та надалі використовується для теплопостачання, що дозволяє суттєво підвищити загальний коефіцієнт корисної дії установки. Газотурбінні установки, у свою чергу, характеризуються високою питомою потужністю та можливістю роботи на великих навантаженнях. Вони застосовуються переважно на промислових об'єктах або у великих енергетичних системах. Проте їх використання обмежується високою вартістю обладнання та складністю експлуатації [11].

Класифікацію автономних джерел живлення на основі ДВЗ доцільно проводити за кількома основними ознаками. За видом палива установки поділяються на дизельні та газові. За потужністю виділяють установки малої (до

1 МВт), середньої (1–10 МВт) та великої потужності (понад 10 МВт). За режимом роботи вони можуть використовуватися як резервні, пікові або базові джерела електропостачання [11].



Рис.1.3. Класифікація автономних джерел живлення на основі ДВЗ

У контексті децентралізованих систем електропостачання особливе значення мають газопоршневі установки середньої потужності, які можуть ефективно працювати як у складі локальних енергосистем (MicroGrid), так і паралельно з централізованою мережею. Такі установки характеризуються відносно високим ККД, швидким виходом на номінальний режим та можливістю гнучкого регулювання потужності.

Аналіз показує, що для забезпечення електропостачання об'єкта використано когенераційні газопоршневі установки потужністю 2×1560 кВт з приєднанням до мережі напругою 10 кВ[12]. Зазначені установки належать до класу середньої потужності та можуть працювати в режимі виробника електроенергії, що дозволяє не лише покривати власні потреби об'єкта, а й, за потреби передавати надлишкову електроенергію в мережу.

Для більш наочного порівняння основних типів автономних джерел живлення доцільно представити їх характеристики у вигляді таблиці.

Таблиця 1.2.

Порівняння автономних джерел живлення на основі ДВЗ

Параметр	ДЕС	ГПУ	ГТУ
Вид палива	Дизель	Природний газ	Газ
ККД, %	30–40	35–45(до 85–90 у когенерації)	30–38
Вартість палива	Висока	Нижча	Середня
Швидкість запуску	Висока	Середня	Висока
Рівень викидів	Високий	Нижчий	Середній
Область застосування	Резерв	Базова/резерв	Великі об'єкти
Ресурс роботи	Середній	Високий	Високий
Можливість когенерації	Обмежена	Висока	Висока

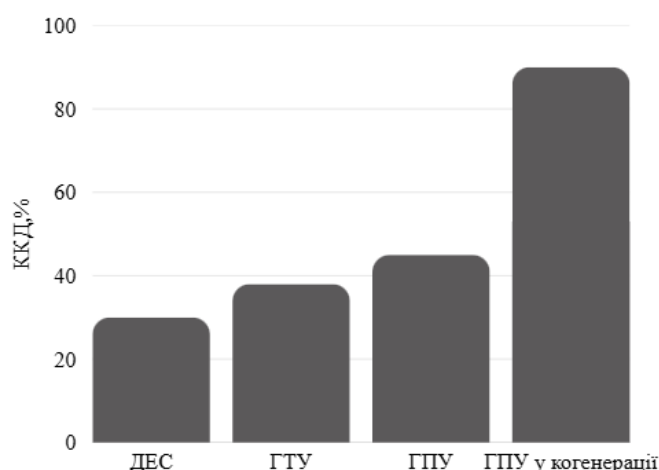


Рис.1.4. Порівняння коефіцієнта корисної дії автономних джерел живлення

Порівняльний аналіз таблиці 1.2. та рисунка 1.4. свідчить про те, що газопоршневі установки у когенераційному режимі мають значно вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з іншими автономними джерелами живлення. Зокрема ГПУ мають більш високу економічність при тривалій роботі та можливість використання когенерації. Саме ці фактори обумовлюють доцільність їх застосування в децентралізованих системах електропостачання. На відміну від дизельних електростанцій, ГПУ мають менший рівень шкідливих викидів в навколишнє середовище та підходять для тривалої роботи в базовому режимі.

Порівняння переваг та недоліків ГПУ

Переваги	Недоліки
Економічність та фінансова вигода	Обмеження по потужності
Енергетична незалежність та надійність	Екологічні нюанси та специфічні викиди
Висока гнучкість та маневровість	Складніша автоматика
Когенерація та універсальність	Потреба в релейному захисті
Модульність та компактність	Вища початкова вартість
Можливість паралельної роботи з мережею	Залежність від газопостачання

З наведеної вище таблиці 1.3. видно, що газопоршневі установки, як і будь яке інше джерело генерації енергії, мають як і переваги так і недоліки. Проте вони характеризуються значною кількістю технічних та економічних переваг. Разом з тим їх використання потребує стабільного газопостачання, а також більш складних систем автоматики та релейного захисту. Незважаючи на це, високий ККД та можливість когенерації роблять ГПУ перспективним рішенням для сучасних децентралізованих систем електропостачання.

Таким чином, автономні джерела живлення на основі двигунів внутрішнього згоряння відіграють важливу роль у забезпеченні надійності електропостачання споживачів. Серед них газопоршневі установки є найбільш перспективним варіантом для використання у складі регіональних децентралізованих енергосистем, саме тому вони були обрані у даній роботі.

1.3. Особливості режимів роботи децентралізованих джерел в регіональних енергосистемах

Децентралізовані джерела електричної енергії, зокрема установки на основі двигунів внутрішнього згоряння, можуть працювати в різних режимах залежно від умов експлуатації, параметрів електричної мережі та вимог споживачів. Вибір режиму роботи суттєво впливає на надійність електропостачання, якість електроенергії та ефективність використання генеруючих установок.

Для газопоршневих станцій характерні три основні режими роботи:

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автономний, паралельний та острівний. Кожен із цих режимів має свої технічні особливості та потребує дотримання відповідних вимог під час експлуатації [11].



Рис.1.5. Основні режими роботи децентралізованих джерел генерації

Автономний режим передбачає роботу генеруючої установки незалежно від централізованої енергосистеми. У цьому випадку джерело генерації повністю забезпечує електроживлення споживачів, а параметри електроенергії (напруга, частота) підтримуються за рахунок систем автоматичного регулювання. Такий режим застосовується переважно для резервного електропостачання або в ізольованих системах. Основною перевагою автономного режиму є незалежність від зовнішніх мереж, проте він потребує високої надійності обладнання та точного регулювання режимів роботи [11].

Режим паралельної роботи генератора ГПУ з мережею передбачає електроживлення навантаження споживачів одночасно від генератора та від мережі. Для паралельної роботи генератор має бути синхронізований з мережею за напругою та частотою [3, 4].

Система управління забезпечує плавний набір потужності та передачу надлишкової електроенергії у мережу. Кожна газопоршнева електростанція за відповідного рівня автоматизації має можливість перемикання з паралельного в острівний режим роботи у разі аварії на мережах. Паралельна робота з електричною мережею є найбільш поширеним режимом для децентралізованих джерел генерації. У цьому випадку генеруюча установка працює синхронно з мережею та може як споживати, так і віддавати електроенергію. Такий режим дозволяє оптимізувати навантаження, зменшити витрати на електроенергію та підвищити ефективність використання обладнання[11].

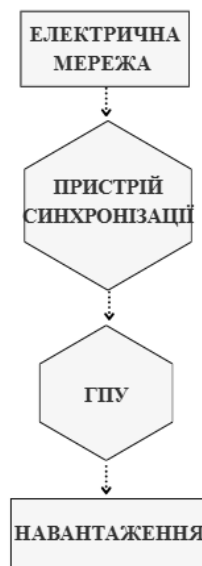


Рис.1.6. Схема паралельної роботи ГПУ з електричною мережею

Острівний режим (island mode) виникає у випадку відключення зовнішньої мережі або аварійних ситуацій. У цьому режимі децентралізоване джерело автоматично переходить на живлення локальної мережі без зв'язку з енергосистемою. Такий режим є особливо важливим для об'єктів критичної інфраструктури, де навіть короточасне відключення електроенергії є недопустимим. Реалізація острівного режиму потребує наявності спеціальних систем автоматики та швидкодіючих пристроїв захисту.

Однією з ключових умов роботи децентралізованих джерел у паралельному режимі є забезпечення синхронізації з електричною мережею. Синхронізація

передбачає узгодження таких параметрів, як напруга, частота та фаза. Невиконання цих умов може призвести до виникнення аварійних режимів, пошкодження обладнання або відключення генерації. Тому перед підключенням до мережі обов'язково здійснюється контроль параметрів синхронізації за допомогою відповідних пристроїв.

Споживачі, які мають власні джерела генерації та системи накопичення енергії, можуть брати участь у балансуванні локальних енергосистем та покритті

пікових навантажень. Це дозволяє підвищити гнучкість енергосистеми та більш ефективно використовувати вироблену електроенергію[13].

Важливу роль у забезпеченні надійної роботи децентралізованих джерел відіграють системи релейного захисту та автоматики. Вони призначені для виявлення та ліквідації аварійних режимів, а також для запобігання пошкодженню обладнання. До основних видів захисту, що застосовуються для генеруючих установок, належать максимальний струмовий захист, захист від зворотної потужності, захист від перевантаження, а також захист від втрати напруги [5,14].

Для забезпечення надійної роботи ГПУ, застосовують сучасні пристрої релейного захисту, які забезпечують контроль основних параметрів мережі та автоматичне відключення обладнання у разі виникнення аварійних ситуацій. Це дозволяє підвищити надійність роботи газопоршневих установок та забезпечити їх безпечну експлуатацію[4, 5].

Окрім цього, децентралізовані джерела генерації впливають на режими роботи електричної мережі. Зокрема, вони можуть змінювати рівень напруги, впливати на розподіл потоків потужності та струмів короткого замикання. У зв'язку з цим необхідно враховувати їх вплив на якість електроенергії та стабільність роботи енергосистеми [2].

Висновки до розділу 1

Отже, розглянуті нормативно-правові документи, якими регламентуються роботи по встановленню та експлуатації обладнання встановлюють жорсткі норми. Розглянута класифікація автономних джерел живлення на основі двигунів внутрішнього згоряння для регіональних децентралізованих систем дає змогу виявити недоліки і переваги кожного виду. Зокрема, виявлено, що газопоршневі установки мають найбільший пріоритет, у порівнянні з подібними автономними джерелами живлення. Режими роботи децентралізованих джерел електроенергії мають ряд особливостей, які необхідно враховувати при їх

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

проектуванні та експлуатації. Найбільш ефективним є паралельний режим роботи з електричною мережею, який забезпечує оптимальне використання генеруючих потужностей та підвищує надійність електропостачання. Водночас реалізація такого режиму потребує дотримання вимог до синхронізації, релейного захисту та якості електроенергії.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИБІР ГАЗОПОРШНЕВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Розрахунок електричного навантаження

У даному розділі виконано розрахунок електричних навантажень та обґрунтовано вибір когенераційних газопоршневих установок. Робота в режимі «Виробник» передбачена на об'єкті реконструкції. Вона виконується в межах існуючої схеми електропостачання офісного та торговельного комплексу за адресою: м. Київ, вул. Берковецька, 6-К та 6-В[24].

Розрахункова потужність когенераційних установок першого етапу становить 3120 кВт.

Проектовані когенераційні газопоршнєві установки є додатковим джерелом резервного електропостачання об'єкта.

- Напруга мережі енергопостачання - 10 кВ.
- Категорія надійності енергопостачання від ГПУ – III
- Приєднання Генераторів когенераційних установок (ГПУ-1 та ГПУ-2) передбачено до II СШ РУ-10 кВ, ТП-671.

Когенераційні установки можуть працювати у наступних режимах:

- "Активний споживач", режим роботи паралельний із основною мережею енергопостачання. До 50% надлишків виробленої електроенергії допускається передавати в Мережу. Навантаження на агрегатах може регулюватися за допомогою заданого значення;
- "Острів", автономний режим роботи. Вимикачі Мережі у ввідних комірках РУ-10 кВ ТП-671 "Вимкнені".

Розрахунок електричних навантажень та вибір газопоршневої когенераційної установки виконано відповідно до вимог чинних нормативно-технічних документів у галузі електроенергетики. Зокрема, ПУЕ, ДБН В.2.5-23:2010 та інших нормативних документів, що регламентують проектування та

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатацію електроустановок[5,6].

Основні технічні показники електричних навантажень наведені у таблиці 2.1., у якій зазначено необхідні навантаження торговельного та офісного приміщень.

Таблиця 2.1.

Основні технічні показники електричних навантажень торговельного та офісного приміщень

№ з/п	Показники	Одиниця виміру	Значення
1	Тимчасова точка забезпечення потужності	-	РУ-10 кВ ПС 110/10 «Берковецька»
2	Категорія надійності електропостачання струмоприймачів	-	ІІІ
3	Розрахункова (дозволена потужність) генераційних установок	кВт	1560 кВт (Вв. № 1) 1560 кВт (Вв. № 2)
4	Коефіцієнт потужності $\cos \phi$	-	1,0 (з можливістю коригування)
5	Розрахункова річна генерація електроенергії (І етап)	кВт·год/рік	13665600

Аналіз таблиці 2.1. свідчить про те, що точка приєднання визначена як РУ-10 кВ ПС 110/10 «Берковецька», отже вказує про інтеграцію в мережу середньої напруги. Це забезпечує можливість централізованого контролю та обліку. Також ІІІ категорія надійності означає, що електропостачання допускає перерви, але не критичні для безперервності технологічних процесів. Це типовий рівень для об'єктів без особливих вимог до резервування. Щодо потужності генераційних установок, то це дві незалежні вводні лінії потужністю по 1560 кВт кожна формують сумарну дозволена потужність 3120 кВт. Такий рівень відповідає середнім промисловим об'єктам і дозволяє забезпечити значну частку локального споживання. Коефіцієнт потужності має значення $\cos \phi = 1,0$ (з можливістю коригування), що забезпечує ефективну роботу системи електропостачання. Запланований обсяг виробництва — 13 665 600 кВт·год/рік відповідає середньому рівню генерації для локальних електростанцій[24]. Отже, система характеризується достатньо високим рівнем технічної організації, значною встановленою потужністю та ефективним режимом роботи. Водночас ІІІ категорія надійності свідчить про відсутність жорстких вимог до резервування, що робить установку більш економічною.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова річна генерація електроенергії, кВт·год/рік:

$$A_p = P_p \cdot n \cdot t, \quad (2.1)$$

де

P_p - розрахункова (дозволена) потужність по кожному вводу, кВт;

n - кількість робочих днів;

t - кількість годин роботи на добу.

Відповідно до формули (2.1) визначено розрахункову річну генерацію електроенергії для торговельного та офісного комплексу:

$$A_p = (1560 + 1560) \cdot 365 \cdot 12 = 13665600 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Для виконання подальших розрахунків використано вихідні дані, отримані з робочого проекту системи електропостачання та технічної документації газопоршневої установки[23,24]:

- номінальна напруга приєднання - 10,5 кВ;
- встановлена потужність однієї ГПУ - 1560 кВт;
- повна потужність однієї ГПУ - 1950 кВА;
- довжина кабельної лінії - 0,14 км;
- активний опір кабельної лінії - 0,2625 Ом/км;
- індуктивний опір кабельної лінії - 0,06 Ом/км;
- коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ - 1,0 [24].

Розрахунковий струм в нормальному режимі (ГПУ-1, ГПУ-2 в роботі), А

$$I_{\text{розр.}} = \frac{S_{\text{розр.}}}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (2.2)$$

де

$S_{\text{розр.}}$ - повна потужність ГПУ-1 і ГПУ-2, кВА;

k - кількість кабелів до приєднання;

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Uном. - напруга приєднання, кВ;

Відповідно до формули (2.2) визначено розрахунковий струм ГПУ

$$I_{\text{розр.}} = \frac{(1950 \cdot 2)/2}{2 \cdot 1,7321 \cdot 10,5} = 107,22 \text{ А};$$

Отже, за отриманими результатами виконаних розрахунків визначено, що розрахунковий струм роботи ГПУ при напрузі приєднання 10,5 кВ становить 107,22 А[24].

Облік споживання електроенергії на власні потреби ГПУ виконується із застосуванням трансформаторного включення та відповідає вимогам ПУЕ щодо точності та надійності комерційного обліку[5,8].

Згідно з розрахунками навантаження існуючих струмоприймачів власних потреб, максимальна потужність дорівнює 166,0 кВт, при напрузі 0,38 кВ і коефіцієнті потужності $\cos \phi = 0,85$ що відповідає типовим параметрам допоміжних систем генераційних установок.

2.2. Технічні характеристики та обґрунтування вибору когенераційної установки

У наступному підрозділі доцільно виконати вибір газопоршневої когенераційної установки та на основі вище отриманих розрахунків обґрунтувати її застосування як джерела розподіленої генерації[24].

Для забезпечення роботи об'єкта у режимі резервного та паралельного електропостачання доцільно застосувати газопоршкову когенераційну установку контейнерного виконання RSE 1200 на базі двигуна MWM TCG 2020 V12. Дана установка призначена для виробництва електричної енергії з можливістю одночасного використання теплової енергії, що дозволяє підвищити загальний коефіцієнт корисної дії системи[23].

Когенераційна установка може додатково комплектуватись водогрійним або паровим котлом залежно від режиму роботи та потреб споживача у тепловій енергії[23].

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

**Технічні характеристики газопоршневої когенераційної установки RSE
1200 на базі MWM TCG 2020 V12**

Електрична потужність	1200 кВт.
Двигун	TCG 2020 V12
Конфігурація двигуна	R
ККД електричний	43,7%
Напруга	10500 В
Частота	50 Гц
Тип палива	Природний газ
Кількість циліндрів	12

Аналіз таблиці 2.2. свідчить про те, що електрична потужність 1200 кВт є достатньою потужністю для живлення об'єктів критичної інфраструктури, житлових кварталів, а також середнього промислового підприємства. Така потужність дозволяє працювати в двох різних режимах роботи, таких як, паралельний та автономний[23]. Двигун MWM TCG 2020 V12 є високо надійним та довговічним, V12 є конфігурацією двигуна та забезпечує рівномірний розподіл навантаження. Також варто звернути увагу, що електричний ККД дорівнює 43,7%, що є досить високим показником для когенераційних установок. Якщо поєднати з утилізацією теплової енергії, загальний ККД може сягати 85-90%, що робить когенерацію економічно вигідною. Напруга генератора 10,5 кВ забезпечує можливість приєднання установки до мережі середньої напруги без використання додаткових трансформаторів. Тому що високовольний вихід дозволяє інтегрувати ГПУ безпосередньо в локальні мережі середньої напруги. Частота 50 Гц є стандартом для енергосистем України та Європи. Природний газ є більш екологічним порівняно з іншими видами палива, адже він знижує викиди вуглекислого газу та забезпечує стабільність постачання. Завдяки великій кількості циліндрів робота установки буде плавною та з можливістю гнучкого регулювання.

Таблиця 2.3.

Енергетичний баланс когенераційної установки при різних навантаженнях

Навантаження агрегату	%	100	75	50
Електрична потужність на клеммах СОР згідно з ISO 8528-1	кВт	1200	900	600
Тепло охолоджувальної рідини ($\pm 8\%$)	кВт	608	470	338
Тепло низькотемпературного охолоджувача суміші ($\pm 8\%$)	кВт	107	72	41
Тепло низькотемпературного контуру суміші ($\pm 8\%$)	°C	120	120	120
Тепло відпрацьованих газів під час охолодження ($\pm 8\%$)	кВт	581	482	366
Витрата палива (+ 5 %)	кВт	2748	2129	1502
Електричний ККД	%	43,7	42,3	39,9
Термічний ККД	%	43,3	44,7	46,9
Загальний ККД	%	87,0	87,0	86,8

Аналіз таблиці 2.3. показує що, електрична потужність від 1200 кВт до 600 кВт, це доводить лінійність роботи генератора при часткових навантаженнях. Тепло охолоджувальної рідини, яке генерується можна повторно застосувати для систем опалення. А от тепло низькотемпературного охолоджувача придатне для підігріву води або технологічних потреб, тепло відпрацьованих газів використовується для парових котлів, або виробництва гарячої води. Витрати палива є економічним показником при часткових навантаженнях. Електричний ККД перебуває в межах типових значень для когенераційних газопоршневих установок. При меншій генерації електроенергії більше тепла утилізується, це видно по термічній ККД адже при зниженні навантаження ККД зростає. Найголовніше що загальний ККД незалежно від навантаження залишається стабільним $\sim 87\%$, це і підтверджує ефективність. Отже, особливістю впровадження когенераційної установки є те, що частина енергії палива використовується не лише для виробництва електроенергії, а й для отримання теплової енергії[23].

Вибір потужності генераторної установки доцільно виконувати з урахуванням розрахункового навантаження та резерву потужності. Для

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

виконання подальших розрахунків використано вихідні дані, отримані з робочого проекту системи електропостачання та технічної документації газопоршневої установки[23; 24]:

Розрахункова потужність однієї ГПУ— 1560 кВт, резерв 10 %.

Розрахункова формула визначення резервної потужності визначається за формулою:

$$P_{\text{рез}} = 0,1 \cdot P_{\text{р}} , \quad (2.3)$$

де

$P_{\text{р}}$ - розрахункова потужність;

$P_{\text{рез}}$ - резервна потужність.

Відповідно до формули (2.3) визначено резервну потужність:

$$P_{\text{рез}} = 0,1 \cdot 1560 = 156 \text{ кВт}$$

Необхідна потужність джерела розподіленої генерації визначається за формулою:

$$P_{\text{дж}} = P_{\text{р}} + P_{\text{рез}} , \quad (2.4)$$

де

$P_{\text{дж}}$ - необхідна потужність джерела розподіленої генерації, кВт;

$P_{\text{р}}$ - розрахункова потужність установки, кВт;

$P_{\text{рез}}$ - резервна потужність, кВт.

Відповідно до формули (2.4) визначено необхідну потужність джерела розподіленої генерації:

$$P_{\text{дж}} = 1560 + 156 = 1716 \text{ кВт}$$

Робота установки передбачається паралельно з мережею, а частина навантаження може покриватися зовнішнім електропостачанням, вибір установки виконується з урахуванням режиму роботи, графіка навантаження та можливості регулювання потужності[24].

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Таблиця 2.4.

Порівняння розрахункових вимог об'єкта з параметрами обраної ГПУ

Показник	Вимога об'єкта	Параметр RSE 1200	Висновок
Напруга приєднання	10 кВ	10,5 кВ	Відповідає
Частота	50 Гц	50 Гц	Відповідає
Режим роботи	паралельно з мережею	паралельно з мережею	Відповідає
Тип палива	природний газ	природний газ	Відповідає
ККД	Високий	87 % загальний	Відповідає
Потреба у резервному живленні	Наявна	забезпечується ГПУ	Відповідає

Аналіз таблиці 2.4. показує що, відхилення є допустимими , які можна компенсувати за рахунок трансформаторного обладнання. Частота відповідає стандарту України. Установка працює в паралельному режимі, який в свою чергу забезпечує синхронізацію з мережею. Загальний ККД установки характеризується високим рівнем енергоефективності і дорівнює 87%. Завдяки контейнерному виконанню є можливість швидко розгорнути установку та забезпечити резервне живлення.

Під час вибору газопоршневої установки необхідно приділити увагу генератору, адже саме він забезпечує перетворення механічної енергії двигуна в електричну[23]. Необхідні технічні характеристики генератора когенераційної установки наведені у таблиці 2.5.

Технічні характеристики генератора когенераційної установки

Виробник	TDPS
Тип	TD84-V1
номінальна потужність	$\cos \varphi = 1,0$ — 1200 кВт
Частота	50 Гц
Напруга	10500 В
швидкість обертання	1500 об/хв
клас захисту	IP23
клас ізоляції	F

Аналіз таблиці 2.5. показує що, номінальна потужність відповідає потужності двигуна, що забезпечує ефективну передачу електроенергії без перенавантажень. Виробник є надійним та відповідає міжнародним стандартам. Швидкість забезпечує стабільність роботи, що відповідає синхронній швидкості для генераторів у системі 50 Гц. Захист є достатнім для контейнерного виконання. Клас ізоляції гарантує довговічність та стійкість, тому що допускає роботу при температурі 155 °С.

Отже, за основними параметрами установка RSE 1200 відповідає умовам роботи об'єкта, оскільки забезпечує необхідний рівень напруги, частоту 50 Гц, можливість паралельної роботи з мережею та має високий загальний ККД за рахунок використання теплової енергії.

Основними причинами для вибору ГПУ контейнерного виконання є швидкий монтаж, компактність, заводська готовність та можливість розміщення безпосередньо біля об'єкта електропостачання. Об'єктам, які мають обмежену площу або потребують оперативного встановлення доцільно буде обрати установку контейнерного виконання. Важливою перевагою є те що, за рахунок контейнеру рівень шуму знижується під час роботи установки, а також він захищає обладнання від атмосферних опадів та інших факторів.

2.3. Організація роботи когенераційної установки у режимі «Виробник»

Для експлуатації існуючих когенераційних установок у режимі «Виробник» проектом передбачається використання існуючих комірок РУ-10 кВ ТП-671. Для прийому електроенергії від генераторної установки та синхронізації генераторних установок із основною мережею електропостачання застосовують трансформатори напруги та обмежувачі перенапруги. Підключення генераторів до системи електропостачання виконується через вакуумні вимикачі Генератора (GCB), а також мікропроцесорними пристроями релейного захисту і автоматики та трансформаторами струму – для підключення когенераційних установок, що забезпечують надійну та безпечну роботу когенераційної установки у паралельному режимі з мережею[24].

Робочий проєкт системи електропостачання об'єкта, наданий підприємством для виконання кваліфікаційної роботи передбачає використання існуючої схеми електропостачання та вже встановленого електрообладнання. Як наслідок, розрахунки потужності внутрішніх мереж електропостачання, а також перевірка теплової та електродинамічної стійкості не потребують подальшого перегляду, оскільки відповідають технічним умовам ДТЕК «Київські електромережі»[24].

Компенсація реактивної електроенергії на об'єкті здійснюється установками компенсації реактивної електроенергії УКРМ-0,4, що встановлені у розподільчих установках.

Оскільки приєднана потужність струмоприймачів об'єкта не змінювалась, проведення додаткових розрахунків пристроїв компенсації реактивної електроенергії в кваліфікаційній роботі не передбачається. Водночас схема роботи газопоршневих установок передбачає програмне регулювання коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, що дозволяє забезпечити стабільний режим роботи без використання додаткових компенсуючих пристроїв[24].

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Проектом передбачається, у разі відключення ввідних кабельних ліній 10 кВ від ПС Берковецька, автоматичне відключення газопоршневих установок. Перехід у режим «Острів» здійснюється вручну, після перевірки стану Ввідних вимикачів, які мають знаходитися в положенні «Вимкнено».

При роботі когенераційних газопоршневих установок у режимі «Виробник» при зниженні частоти в Об'єднаній енергосистемі України проектом передбачається автоматичне відключення генерації від об'єднаної мережі за допомогою існуючих систем керування ГПУ. Перехід установки у режим «Острів» здійснюється в ручному режимі. Поріг спрацювання автоматики частотного ділення (АЧД), а також ступені регулювання визначаються відповідно до прийнятих параметрів на вузлах підстанцій Об'єднаної енергосистеми України[3,24].

У роботі передбачається використання встановленого обладнання релейного захисту і автоматики для захисту газопоршневої установки, а саме, пристроїв захисту MRZS-F2H32. Основним режимом роботи когенераційної установки передбачається режим «Виробник» з приєднанням до основної мережі живлення (ОСР)[24].

Для запобігання небезпечному паралельному підключенню:

- секційний вимикач має бути відключеним, а робота ГПУ в паралель з мережею має відбуватися лише по II вводу;
- трансформатори напруги на стороні генераторів знаходяться в коробці БРНО;
- трансформатори напруги залучені для синхронізації генераторів з мережею;

Передбачається контроль стану ввідних та секційних вимикачів, що забезпечує безпечну роботу установки у паралельному режимі з мережею. Також проектом враховано можливість підключення систем диспетчеризації та SCADA для моніторингу режимів роботи когенераційної установки[24].

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Проектована газопоршнева установка ГПУ-1(2) належить до типу В генеруючих установок і відповідає вимогам Кодексу системи передачі, що затверджений постановою НКРЕКП № 309 від 14.03.2018 р., зі змінами[3].

Таблиця 2.6.

Відповідність газопоршневої установки вимогам Кодексу систем передачі

Пункти та підпункти Розділу III, в яких передбачені технічні вимоги	Технічна вимога	Показник згідно технічної документації виробника ГПУ	Відповідність вимогам
П.2.3	Технічні вимоги щодо стабільності частоти	50 Гц, діапазон $\pm 4\%$	
П.2.3.1	Діапазони частоти	+3%; -5%; 30 хвил. (47,5-51,5 Гц)	Відповідає
П.2.3.2	Стійкість до швидкості зміни частоти	Відповідає вимогам	Відповідає
П.2.3.3	Режим з обмеженою чутливістю до частоти – підвищена частота (LFSM-O)	Підтримується	Відповідає
П.2.3.6	Дистанційне відключення/включення	Підтримується	Відповідає
П.2.3.7	Керованість активною потужністю	1560 кВт, $\cos \varphi = 1,00$	Відповідає
П.2.3.9	Автоматичне приєднання	Підтримується	Відповідає
П.2.4	Технічні вимоги щодо надійності генеруючих одиниць		
П.2.4.2	Стійкість до КЗ	$3 \times I_{кз} = 429 \text{ А}$	Відповідає
П.2.4.3	Відновлення вироблення активної енергії після КЗ	Підтримується	Відповідає
П.2.6	Технічні вимоги щодо управління системою передачі		
П.2.6.1	Схеми управління та параметри налаштування	Підтримуються	Відповідає
П.2.6.2	Релейний захист та протиаварійна автоматика та параметри налаштування	Включено в систему ТЕМ-EVO	Відповідає
П.2.6.3	Обмін інформацією	Передача даних через ТРЕМ	Відповідає
П.2.7	Технічні вимоги щодо відновлення системи передачі		
П.2.7.1	Автоматичне повторне приєднання	Підтримується	Відповідає

Джерело: таблиця складена на основі технічної документації виробника газопоршневої установки та Кодексу системи передачі [3; 23]

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Аналіз таблиці 2.6. показує, що газопоршнева установка відповідає основним вимогам Кодексу системи передачі щодо стабільності частоти та режимів роботи генеруючого обладнання. Діапазон частоти є стабільним, коливання незначні в межах норми і відповідають вимогам, а отже установка здатна витримувати відхилення не втрачаючи стабільності роботи. Установка відповідає вимогам щодо швидкості зміни частоти. Підтримується режим роботи генеруючого обладнання в енергосистемі LFSM-O, що забезпечує можливість роботи генеруючого обладнання при підвищеній частоті в енергосистемі. Це дозволяє підвищити стабільність роботи електричної мережі під час аварійних та перехідних режимів. Наявність дистанційного керування забезпечує можливість віддаленого включення та відключення установки, що відповідає вимогам диспетчеризації. Установка має здатність регулювати навантаження. Важливо те, що є можливість швидко відновити роботу після аварійної ситуації, завдяки автоматичному приєднанню. Стійкість до короткого замикання відповідає вимогам, щодо надійності, а також підтримується відновлення після КЗ, що гарантує безперервність вироблення енергії. Системи для релейного захисту та автоматики TEM-EVO є передовими системами автоматичного управління, які були розроблені спеціально для газопоршневих установок. Вони забезпечують комплексне керування двигуном.

Висновки до 2 розділу

Оскільки розрахункова потужність одного вводу становить 1560 кВт, вибір когенераційної установки виконується з урахуванням роботи у паралельному режимі з мережею, графіка навантаження та можливості покриття частини навантаження зовнішнім електропостачанням. Тому паспортна електрична потужність установки RSE 1200 розглядається як складова джерела розподіленої генерації, що працює разом з існуючою системою електропостачання об'єкта. Сумарна потужність двох когенераційних установок становить 3120 кВт, ця потужність відповідає потребам торговельно-офісного комплексу і дозволяє

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

інтеграцію в мережу середньої напруги. Завдяки вибору газопоршневої когенераційної установки моделі RSE 1200 на базі двигуна MWM TCG 2020 V12 яка підтримує можливість утилізації тепла, та має високий електричний ККД підвищується загальний ККД до 87%. Значна частка локального споживання та підвищена енергозалежність об'єкта можлива завдяки річній генерації електроенергії оціненій в 13,7 млн кВт·год. Загальний ККД стабільний незалежно від навантаження та економічний при часткових режимах роботи. Установка відповідає параметрам напруги, частоти, режиму роботи, типу палива та резервного живлення. Генератор відповідає потужності двигуна, що в свою чергу гарантує довговічність та стабільність роботи, а також він має належний клас захисту ізоляції. Завдяки контейнерному виконанню забезпечений швидкий монтаж, компактність, можливість розміщення безпосередньо біля об'єкта а також зниження шуму та захист від атмосферних впливів. Режим «Виробник» має можливість переходу у режим «Острів» при аварійному відключенні завдяки можливості роботи у паралельної роботи з мережею, синхронізацією через трансформатори напруги та релейний захист. Тому вибір когенераційної установки є технічно обґрунтованим та відповідає розрахунковим навантаженням об'єкта. Завдяки поєднанню виробництва електроенергії та теплової енергії установка забезпечує високу енергоефективність. Таким чином підтверджено доцільність впровадження газопоршневої когенераційної установки типу RSE 1200 на базі двигуна MWM TCG 2020 V12 як джерела розподіленої генерації для торгівельно офісного центру комплексу.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ГАЗОПОРШНЕВОЇ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ

3.1. Організація системи комерційного обліку електроенергії

У даному підрозділі розглянуто організацію системи комерційного обліку електроенергії когенераційної газопоршневої установки. Основна увага приділяється приладам обліку, трансформаторам струму, схемі підключення та відповідності системи вимогам ПУЕ [5; 24].

Для комерційного обліку електроенергії у ввідних комірках №16 та №20 2СШ РУ-10 кВ ТП-671 передбачено використання лічильників електроенергії GAMA 300 та трансформаторів струму ТОЛУ-10У3 з класом точності 0,5S. Використання лічильників GAMA 300 забезпечує високий рівень достовірності вимірювань та відповідає вимогам комерційного обліку електроенергії. Застосування трансформаторів струму з класом точності 0,5S дозволяє забезпечити коректний облік активної та реактивної електроенергії[24].

Облік споживання електроенергії на власні потреби ГПУ виконується лічильником трансформаторного включення GAMA 300, трансформаторами струму ТА432 300/5 та колодкою підключення НІК КП-25. Використання лічильника GAMA 300 у трансформаторному включенні з класом точності 1,0 та трансформаторів струму ТА432 (0,5S) забезпечує відповідність вимогам ПУЕ щодо точності та надійності комерційного обліку[5,8].

Розташування основного електрообладнання та вузлів комерційного обліку у ТП-671 наведено у додатку А.1.

Лічильник і колодка підключення встановлюються в металевому зачиненому обліковому ящику, панель якого має закрите склом оглядове вікно для зчитування показань лічильника і має стаціонарне пристосування для пломбування. Конструкція шафи обліку з оглядовим вікном, внутрішніми петлями та можливістю пломбування забезпечує захист від несанкціонованого

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

доступу та відповідає вимогам до комерційного обліку[8].

Трансформатори струму ТА432 шинного виконання встановлюються безпосередньо на кожну фазу кабелю ВВГнгд 5х(1х95), без розриву кабельної жили.

Конструкцією трансформаторів струму ТА432 передбачена можливість пломбування вторинних кіл та відкритих струмопровідних частин до приладу обліку, що забезпечує контроль та захист системи комерційного обліку.

Ланцюги обліку виконати цільним кабелем (КВВГ 10х2,5 мм) від вимірювальних трансформаторів до приладів обліку. Виконання ланцюгів обліку цільним кабелем КВВГ 10х2,5 мм від трансформаторів до лічильника мінімізує ризики втрат та похибок у вимірюваннях[24].

У таблицях 3.1. та 3.2. наведені дані про розрахунок відповідності приладів обліку і трансформаторів струму вимогам ПУЕ[5]. Також у таблицях представлена інформація про існуючі прилади комерційного обліку генерації ГПУ №1, №2 . Отже, система обліку власних потреб ГПУ побудована з урахуванням точності, надійності та захисту від несанкціонованого втручання. Це створює передумови для прозорого комерційного обліку та ефективного енергетичного менеджменту.

Таблиця 3.1.

Перевірка роботи лічильників електроенергії та трансформаторів струму ЩР-ВП.ГПУ

Розташування приладів обліку		ЩР-ВП.ГПУ у РУ-10 кВ ТП-671
Номінальне розрахункове навантаження	А (макс)	296,719
	А (мін)	29,672
Коефіцієнт трансформації		60,000
Номінальний струм лічильника Іном, А		5,000
0,4 Ін лічильника, А		2,000
0,05 Ін лічильника, А		0,250
Поріг чутливості (0,1% Іном), А		0,005
Імакс з урахуванням коеф. Трансформації		4,945
Імін при 10% навантаженні з урахуванням коеф. Трансформації		0,495
Перевірка приладу обліку ПУЕ 1.5.17		$4,945 \geq 2$
		$0,495 \geq 0,25$
Вид обліку		Розрахунковий активний і реактивний в двох напрямках

Аналіз таблиці 3.1. свідчить, що лічильники електроенергії та трансформатори струму ЩР-ВП.ГПУ у РУ-10 кВ ТП-671, відповідають вимогам ПУЕ щодо точності та діапазону вимірювань. Аналіз мінімального та максимального навантаження показує значний діапазон робочих режимів, що потребує точного обліку як при високих, так і при низьких навантаженнях. Коефіцієнт трансформації на рівні 60 забезпечує приведення вимірюваних струмів до номінальних параметрів лічильника, що дозволяє коректно виконувати облік у всьому робочому діапазоні. Характеристики лічильника забезпечують необхідну точність вимірювань навіть при малих навантаженнях. Розрахунковий активний і реактивний облік у двох напрямках, що дозволяє враховувати як споживання, так і генерацію електроенергії, забезпечуючи повний енергетичний баланс. Отже, система комерційного обліку забезпечує коректний облік активної та реактивної електроенергії, а також відповідає вимогам експлуатації когенераційних установок з власним споживанням електроенергії.

Таблиця 3.2

Перевірка роботи лічильників електроенергії та трансформаторів струму РУ-10 кВ ТП-671

Розташування приладів обліку		ком. 20 2СШ РУ-10 кВ ТП-671	ком. 16 2СШ РУ-10 кВ ТП-671
Номінальне розрахункове навантаження	А (макс)	85,778	
	А (мін)	8,578	
Коефіцієнт трансформації		30,000	
Номінальний струм лічильника Іном, А		5,000	
0,4 Ін лічильника, А		2,000	
0,05 Ін лічильника, А		0,250	
Поріг чутливості (0,1% Іном), А		0,005	
Імакс з урахуванням коеф. Трансформації		2,859	
Імін при 10% навантаженні з урахуванням коеф. Трансформації		0,286	
Перевірка приладу обліку ПУЕ 1.5.17		2,859	≥ 2
		0,286	≥ 0,25
Вид обліку		Розрахунковий активний і реактивний в двох напрямках	

Аналіз таблиці 3.2. свідчить про те, що лічильники встановлені в ключових точках, що забезпечує контроль у розподільчій системі. Коефіцієнт

трансформації забезпечує коректність обліку. Дане значення дозволяє узгодити вимірювані струми з номінальними параметрами лічильника. Забезпечується облік активної та реактивної електроенергії у двох напрямках для теоретичного розгляду споживання та генерації, яка відповідає балансу енергосистеми. Лічильники відповідають ПУЕ щодо точності та надійності обліку. Це створює умови для прозорого комерційного обліку та ефективного контролю енергетичних потоків у мережі.

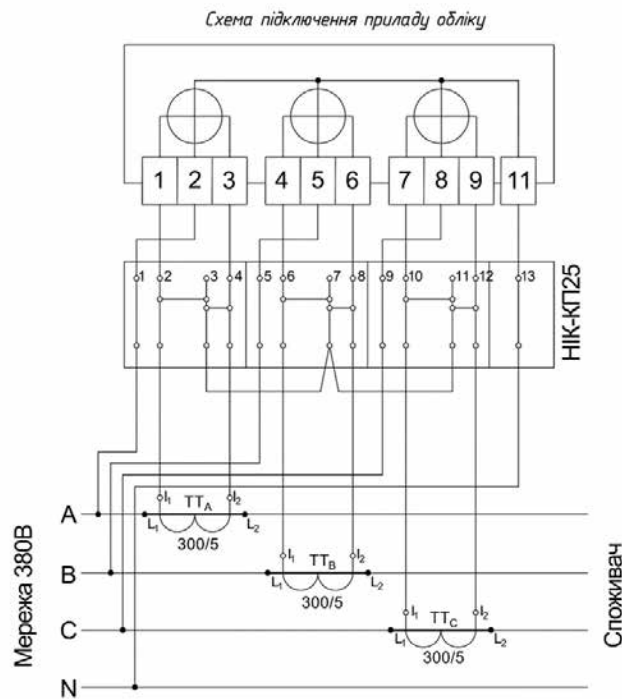


Рис.3.1.Схема підключення приладу обліку GAMA 300

У додатку Б наведено структурну схему автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії у ТП-671.

За результатами проведеного аналізу визначено, що система комерційного обліку електроенергії відповідає вимогам ПУЕ щодо точності та надійності вимірювань. Система забезпечує двонаправлений облік електроенергії, що дозволяє здійснювати контроль як споживання, так і генерації електричної енергії когенераційною установкою. Це забезпечує можливість контролю енергетичного балансу під час роботи ГПУ у паралельному режимі з мережею. Використання трансформаторного включення та сучасних приладів обліку

забезпечує коректний облік активної та реактивної електроенергії. Передбачені технічні рішення забезпечують захист системи обліку від несанкціонованого втручання, а також дозволяють здійснювати стабільний контроль параметрів електроспоживання та генерації електроенергії[5; 8].

3.2. Організація внутрішніх мереж та підключення когенераційної установки

3.2.1. Вибір та характеристика кабельної лінії

Для передачі згенерованої електроенергії проєктованими газопоршневими установками ГПУ-1 і ГПУ-2 проєктом передбачається застосування кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену АпвЕВнгд-20 1х120 мм², що прокладається площиною у металевому лотку по новозбудованій естакаді[24].

Схему прокладання кабельних ліній та конструкцію кабельно-лоткової естакади наведено у додатку В

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики кабелю АпвЕВнгд-20 1х120 мм²

ПОКАЗНИК	значення
Максимальна напруга, кВ	20
Число та номінальний переріз струмопровідних жил, мм кв	1х120
Товщина ізоляції, мм	5,5
Мінімальний переріз екрана, мм кв	16
Допустимий струм короткого замикання по екрану мінімального перерізу, кА	3,3
Максимально допустимий струм короткого замикання струмопровідною жилою, кА	11,3
Довго допустимі струмові навантаження	
• під час прокладання площиною в повітрі, А	252
Максимально допустима температура жили	
• довгостроково ° С	+90
• в аварійному режимі ° С	+130
• при короткому замиканні ° С	+250
Діапазон робочих температур (у виконанні УХЛ) ° С	-50/+50
Мінімальний радіус вигину при прокладанні, мм	592
Розрахунковий зовнішній діаметр кабелю, мм	37

Аналіз таблиці 3.3. свідчить про те, що напруга відповідає рівню мережі 10,5 кВ тим самим забезпечує запас міцності, адже максимальна напруга дорівнює 20кВ. Обраний переріз жили є достатнім для передачі потужності

генератора без перенавантажень та відповідає вимогам ПУЕ та ДСТУ EN 50160:2023 щодо пропускної здатності. Товщина ізоляції забезпечує надійний електричний захист а екран 16 мм² підвищує безпеку та забезпечує захист від електромагнітних завад. Вибір кабелю гарантує безпеку та стабільність енергопостачання. Установка здатна витримувати аварійні режими, адже струм КЗ по жилі дорівнює 11,3 кА. Завдяки допустимому значенню навантаження 252 А забезпечується запас надійності.

3.2.2 Перевірка пропускної здатності та втрат напруги

Виконуємо розрахунок пропускної здатності кабелю.

Розрахунковий струм в нормальному режимі (ГПУ-1, ГПУ-2 в роботі) визначається за формулою:

$$I_{\text{розр.}} = \frac{S_{\text{розр.}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (3.1)$$

де

$S_{\text{розр.}}$ - повна потужність ГПУ-1 і ГПУ-2, кВА;

n - кількість кабелів до приєднання;

$U_{\text{ном.}}$ - напруга приєднання, кВ.

Відповідно до формули (3.1) визначено розрахунковий струм в нормальному режимі:

$$I_{\text{розр.}} = \frac{(1950 \cdot 2)/2}{2 \cdot 1,7321 \cdot 10,5} = 107,22 \text{ А};$$

Розрахунковий струм в післяаварійному режимі (ГПУ-1 або ГПУ-2 в відключена) визначається за формулою(3.1):

Відповідно до формули (3.1) визначено розрахунковий струм в післяаварійному режимі:

$$I_{\text{розр.}} = \frac{1950}{1 \cdot 1,7321 \cdot 10,5} = 107,22 \text{ А};$$

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно технічних характеристик кабелю АпвЭВнгд-20 1х120 мм², максимальний довго тривалий струм Ідоп. при прокладанні у повітрі дорівнює 252А, таким чином, $252 \geq 107,22$ (умова виконується)[23].

Розрахунок втрат напруги наприкінці ділянки КЛ-10 кВ у РУ-10 кВ ТП-671 визначається за формулою:

$$\Delta U_1 = \frac{P_{\text{вст}} \cdot L}{U_n} (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \operatorname{tg}\varphi), \quad (3.2)$$

де

ΔU_1 - падіння напруги наприкінці лінії, В/%;

$P_{\text{вст}}$ - встановлена потужність електроустановки, кВт;

L - довжина кабельної лінії, км;

U_n - номінальна напруга приєднання, кВ;

R - активний опір кабелю, Ом/км;

X - індуктивний опір кабелю, Ом/км;

Відповідно до формули (3.2) визначено розрахунок втрат напруги наприкінці ділянки КЛ-10 кВ у РУ-10 кВ ТП-671:

$$\Delta U_1 = \frac{1560 \cdot 0,14}{10,5} (0,262 \cdot 1,0 + 0,006) = 4,46 \text{ В} / 0,04\%;$$

За результатами розрахунків спад напруги наприкінці ділянки КЛ-10 кВ становить 4,46 В, або 0,04 %, що не перевищує допустимих значень і підтверджує можливість роботи ГПУ у складі існуючої мережі. Отримані результати відповідають вимогам ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності»[24,6].

Визначаємо струм трьохфазного КЗ наприкінці кабельної лінії від ГПУ-1(2) до ввідної комірки № 14(18) РУ-10 кВ ТП-671

Дані для розрахунку:

- Довжина L КЛ: 0,14 км
- Активний опір кабелю R_s : 0,2625 Ом/км
- Індуктивний опір кабелю X_s : 0,06 Ом/км

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- Опір обмоток статора генератора ГПУ-1(2) R_r : 0,5873 Ом (за даними протоколів вимірювань Виробника)[24]

Визначаємо опір КЛ-10 кВ довжиною 0,14 км

$$R_s = 0,0735 \text{ Ом}$$

$$X_s = 0,0168 \text{ Ом}$$

Повний опір Z_0 КЛ наприкінці лінії визначається за формулою:

$$Z_0 = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}, \quad (3.3)$$

Відповідно до формули (3.3) визначено повний опір Z_0 КЛ наприкінці лінії:

$$Z_0 = \sqrt{0,0735^2 + 0,0168^2} = 0,0754 \text{ Ом};$$

Опір $Z_{\text{повн.}}$ з урахуванням опору обмоток статора генератора R_r визначається за формулою:

$$Z_{\text{повн.}} = R_r + Z_0, \quad (3.4)$$

Відповідно до формули (3.4) визначено $Z_{\text{повн.}}$ з урахуванням опору обмоток статора генератора R_r :

$$Z_{\text{повн.}} = 0.5873 + 0.0754 = 0.6627 \text{ Ом};$$

3.2.3. Перевірка кабельної лінії на термічну стійкість

Визначаємо струм короткого замикання наприкінці лінії за формулою:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{повн.}}}, \quad (3.5)$$

Відповідно до формули (3.5) визначено струм короткого замикання наприкінці лінії:

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$I_{кз} = \frac{10500}{1.7321 \cdot 0.6627} = 4017,26A;$$

Перевіряємо кабель АпвЭВнгд-20 1х120 мм² на термічну стійкість, згідно п. 1.4.17 ПУЕ-2017 за формулою:

$$S_{min} = I_{к.з.}^3 \cdot \frac{\sqrt{t_L}}{C}, \quad (3.6)$$

де

S_{min} - мінімальний переріз кабелю, мм²;

$I_{к.з.}^3$ - трьохфазний струм КЗ у наприкінці кабельної лінії;

t_L - час спрацювання захисту з урахуванням повного відключення

вимикача, $t_L = t_{с.з.} + t_{в.}$;

C - термічний коефіцієнт, для алюмінію дорівнює 95 при нормальних умовах;

Час спрацювання захисту з урахуванням повного відключення вимикача становить:

$$t_L = t_{с.з.} + t_{в.} = 0,5 + 0,025 = 0,525 \text{ с.}$$

Відповідно формули (3.6) виконано перевірку кабелю АпвЭВнгд-20 1х120 мм² на термічну стійкість згідно з вимогами п. 1.4.17 ПУЕ-2017 [5]:

$$S_{min} = 4017,26 \cdot \frac{\sqrt{0,525}}{95} = 30,63 \text{ мм}^2;$$

Найближче значення перерізу кабелю – 35 мм², отримане значення не перевищує допустиме[5].

Розраховуємо електродинамічне навантаження на шини у РУ-10 кВ ТП-671

Дані для розрахунку:

Шина алюмінієва АДЗІТ 5х50, $I_{доп.} = 665A$;

Ізолятор опорний ІОП-10-7,5І УХЛ2, мін. руйнівна сила на вигин 7,5 кН;

Відстані для розрахунків наведені на рисунку 3.3.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

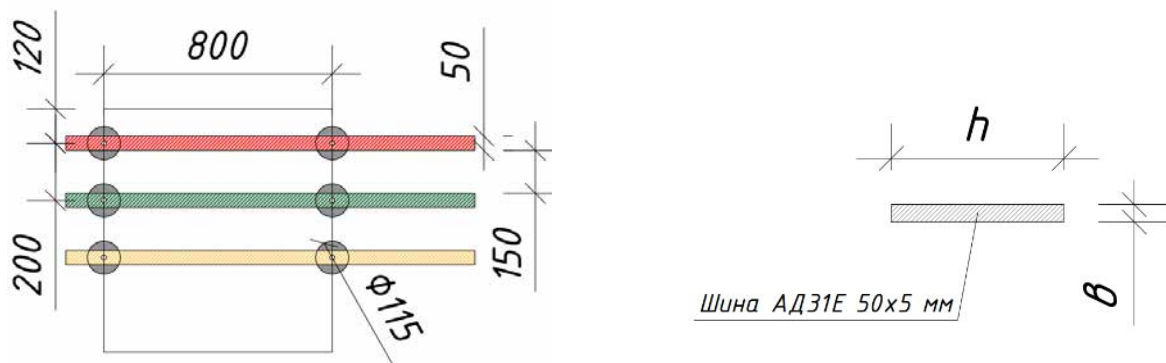


Рис.3.3.Схема розташування шин та відстані для розрахунку електродинамічної стійкості

3.2.4. Перевірка електродинамічної стійкості шин

Для перевірки електродинамічної стійкості шин РУ-10 кВ ТП-671 використано такі вихідні дані:

Однополосні шини прямокутного перерізу $5 \times 0,5$ см з алюмінієвого сплаву марки АД31Т, модуль пружності $E = 7 \cdot 10^{10}$ Па, розташовані вузькими сторонами одна до одної. Довжина прольоту $l = 0,8$ м, відстань між шинами $a = 0,15$ м. Ударний струм трифазного КЗ $i_{уд} = 17,4$ кА, постійна часу $T_a = 0,05$ с. Межа міцності шини $\sigma_b = 127,4$ МПа, Допустима напруга $\sigma_{доп.} = 89,2$ МПа; Момент інерції та момент опору шин прямокутного перерізу визначаються за стандартними формулами опору матеріалів:

Обчислюємо момент інерції і момент опору шини за формулою:

$$I = \frac{bh^3}{12}, \quad (3.7)$$

де

I - момент інерції шини, м^4 ;

b - ширина шини, м;

h - висота шини, м.

Відповідно до формули (3.7) визначено момент інерції:

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$I = \frac{0,005 \cdot 0,05^3}{12} = 52 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

Обчислюємо момент опору шини за формулою:

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (3.8)$$

де

W - момент опору шини, м³;

b - ширина шини, м;

h - висота шини, м.

Відповідно до формули (3.8) визначено момент опору шини:

$$W = \frac{0,005 \cdot 0,05^2}{6} = 2,08 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Обчислюємо максимальну напругу в матеріалі шини і навантаження на ізолятори за формулою:

$$\sigma_{\text{макс.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot l^2}{12 \cdot a \cdot W} \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot \eta, \quad (3.9)$$

де

η - динамічний коефіцієнт, приймаємо 1,3;

a - відстань між шинами;

W - момент опору шини, м³;

l - довжина прольоту;

I_{уд} - ударний струм трифазного КЗ;

Відповідно до формули (3.9) визначено максимальну напругу в матеріалі шини і навантаження на ізолятори:

$$\sigma_{\text{макс.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 0,8^2}{12 \cdot 0,15 \cdot 2,08^{-6}} \cdot 17400^2 \cdot 1,3 = 11,65 \text{ МПа};$$

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Напруга в матеріалі шини менше допустимої напруги $\sigma_{доп} = 89,2$ МПа, тому шина задовольняє умовам електродинамічної стійкості[5].

Визначаємо максимальне навантаження на ізолятори R_{max} за формулою:

$$R_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot l^2}{a} \cdot i_{уд}^2 \cdot \eta, \quad (3.10)$$

Відповідно до формули (3.10) визначено максимальне навантаження на ізолятори R_{max} :

$$R_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 0,8}{0,15} \cdot 17400^2 \cdot 1,3 = 363,6Н;$$

Висновок: Встановлені шини і ізолятори в РУ-10 кВ ТП-671 не потребують заміни, так як збільшення навантаження у зв'язку з підключенням когенераційних установок ГПУ-1 і ГПУ-2 не виходить за межі електродинамічної стійкості встановлених виробів.

3.3. Аналіз стійкості роботи газопоршневої установки в аварійних режимах

За даними розрахунків релейного захисту та автоматики проведено аналіз існуючої схеми приєднання від ПС «Берковецька 110/10 кВ» до ТП-671 з метою визначення критичних параметрів аварійних режимів з урахуванням підключення когенераційних установок.[24]

Однолінійну схему приєднання когенераційних установок ГПУ-1 та ГПУ-2 до РУ-10 кВ ТП-671 наведено у додатку Д.

На рис.3.4 наведено схему видачі потужності когенераційних установок ГПУ-1 та ГПУ-2 у складі системи електропостачання ТП-671.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

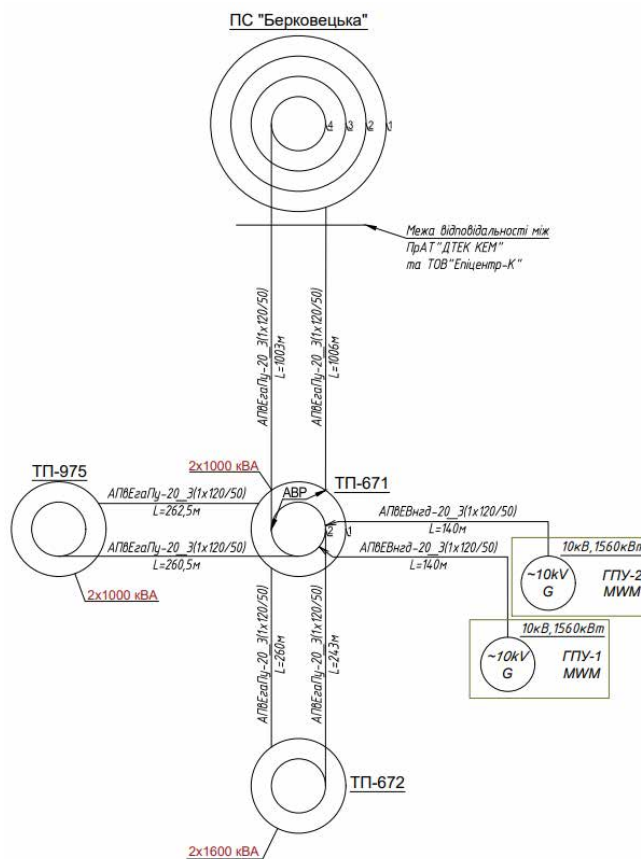


Рис.3.4.Схема видачі потужності когенераційних установок ГПУ-1 та ГПУ-2

На рисунку 3.5 наведено спрощену схему приєднання когенераційної установки до системи електропостачання через ПС «Берковецька».

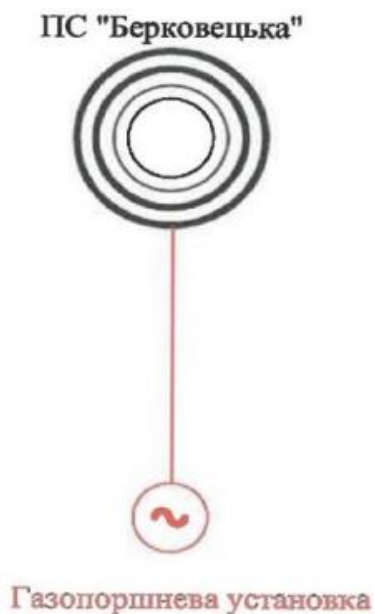


Рис. 3.5. Схема приєднання когенераційної установки до ПС «Берковецька»

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Схема відображає приєднання когенераційної установки до системи електропостачання через ПС «Берковецька».

Вихідні дані для аналізу:

- Номінальна напруга мережі 10,5 кВ.
- Допустиме відхилення напруги в аварійних режимах -12%...+8%.
- Запас стійкості генераторів 0,25 – 0,4 відн. од.
- Час відновлення після аварії 0,5 – 1,2 с.
- Частотні коливання при збуреннях $\pm 0,3$ Гц.
- Поздовжня реактивність генераторів $X'd = 0,2 - 0,4$ відн. од., $X''d = 0,1 - 0,2$ відн. од..
- Відхилення напруги при нормальному режимі - $\pm 5\%$
- Запас стійкості мережі при КЗ – 15%
- Час відключення при КЗ – 0,15-0,25 с[24].

Розглянемо поведінку енергосистеми при аварійному короткому замиканні у точках приєднання когенераційної установки з подальшим автоматичним повторним вмиканням (АПВ) на лінії та відключенням генератора ГПУ-1. Метою є оцінка стійкості системи та її здатності продовжувати роботу після збурення.

Вихідні дані: час збурення — 0,5 сек.

Тип збурення: трифазне коротке замикання в точках 8 та 9

Дія: автоматичне повторне вмикання на лінії

Наслідки: відключення генератора ГПУ-1

Стійкість енергосистеми аналізується з точки зору переходу через аварійний стан за допомогою критерію енергетичного балансу[14].

Для аналізу динамічної стійкості генераторної установки використано рівняння коливань синхронного генератора[14].

Розрахуємо стійкість в межах точок приєднання та генераторів за формулою:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\omega_s}{2H} \cdot (P_m - P_e), \quad (3.11)$$

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

де

δ - кут між ЕРС генератора та мережі;

ω_s - синхронна кутова швидкість, 314 рад/с;

H - інерційна стала машини, 3,5 с;

P_m – механічна потужність приводу, 1,0;

P_e – електрична потужність, що передається в мережу, 0,6;

Система є стійкою, якщо кінетична енергія після збурення менша або дорівнює максимальній потенційній енергії:

$$\Delta W_k \leq \Delta W_{\max},$$

де

ΔW_k - приріст кінетичної енергії системи в момент збурення;

$\Delta W_{\max}$ - максимум енергетичного бар'єру;

Відповідно до формули (3.11) розраховано стійкість в межах точок приєднання та генераторів:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{314}{2 \cdot 3,5} \cdot (1 - 0,6) = \frac{314}{7} \cdot 0,4 \approx 17,94 \frac{\text{рад}^2}{\text{сек}};$$

Збурення триває 0,5 с, тому:

$$\Delta\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 17,94 \cdot (0,5)^2 \approx 2,24 \text{ рад};$$

Цей приріст кута порівнюється з критичним кутом відключення. Якщо $\Delta\delta_{\text{крит.}} \approx 3,14$ рад (180 град), то система зберігає стійкість[14].

На рисунку 3.5 представлено графік залежності активної потужності від кута навантаження.

Реальна потужність генератора 1,56 МВт досягається при куті навантаження приблизно 9,35°. Генератор працює з великим запасом динамічної стійкості. Отримані результати свідчать про те, що післяаварійний режим не призводить до втрати синхронізму генераторної установки та не викликає порушення стійкості системи електропостачання.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

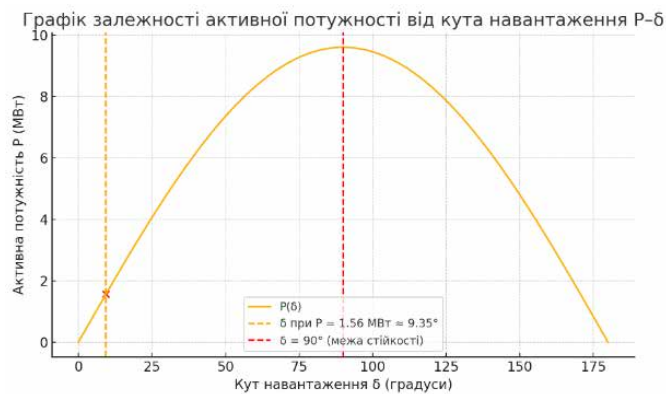


Рис.3.5. Графік залежності активної потужності від кута навантаження

Висновок: Після збурення тривалістю 0,5 с відбувається автоматичне повторне вмикання та відключення генератора ГПУ-1. За розрахунками, приріст кута генератора не перевищує критичне значення, отже система є динамічно стійкою та має достатній запас стійкості для збереження синхронної роботи генераторної установки.

Висновки до 3 розділу

Вибрані технічні рішення гарантують надійність, точність та безпеку роботи газопоршневої когенераційної установки. Забезпечується прозорий двонаправлений облік споживання та генерації завдяки системі комерційного обліку побудованій на сучасних лічильниках та трансформаторах струму з високим класом точності. Надійність в нормальних та аварійних режимах відбуваються завдяки кабельній лінії із зшитого поліетилену, що відповідає вимогам пропускну здатності, втратам напруги та термічній швидкості. Існуючі шини та ізолятори витримують навантаження при коротких замиканнях без необхідності заміни. Розрахунки аварійних режимів ГПУ проаналізовані з урахуванням релейного захисту та автоматики показують, що система зберігає динамічну стійкість навіть при трифазних коротких замиканнях. Таким чином, реалізація проекту є доцільною і забезпечує високий рівень енергоефективності та надійності електропостачання.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Техніко-економічні показники когенераційної установки

У даному підрозділі наведено основні техніко-економічні показники когенераційної газопоршневої установки, що використовується як джерело розподіленої генерації[24].

Основними перевагами застосування когенераційної установки є:

- підвищення надійності електропостачання;
- можливість резервного живлення споживачів;
- зменшення навантаження на електричну мережу;
- підвищення енергоефективності за рахунок одночасного виробництва електричної та теплової енергії;
- можливість роботи у паралельному режимі з енергосистемою.

Встановлена потужність двох когенераційних установок становить 3120 кВт. Розрахункова річна генерація електроенергії складає 13 665 600 кВт·год/рік, що дозволяє забезпечити значну частину потреб об'єкта в електричній енергії[24].

Застосування когенераційної установки контейнерного виконання дозволяє скоротити терміни монтажу та введення об'єкта в експлуатацію, а також зменшити витрати на будівельно-монтажні роботи.

4.2. Охорона праці та техніка безпеки при експлуатації когенераційної установки

Мікрокліматичні умови у приміщеннях, присутність у повітрі робочої зони шкідливих речовин, рівень шуму, а також інші несприятливі фактори виробничого середовища повинні відповідати вимогам, зазначеним у нормативних документах.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

До монтажу, налагоджування та обслуговування силових електричних мереж та електрообладнання допускаються особи, які мають відповідний допуск, документи, що засвідчують право на роботу з цим обладнанням, що пройшли інструктаж з техніки безпеки та інструктаж на робочому місці за безпечними методами роботи. Обслуговуючий та оперативний персонал повинен мати відповідну підготовку, знати принцип дії та будову електроустановок, вивчити інструкції з експлуатації системи та необхідні вимоги «Правил технічної експлуатації».

Охорона праці та техніка безпеки працівників при виконанні монтажних робіт та експлуатації об'єкту повинна здійснюватися відповідно до вимог таких документів[5,7]:

- Закон України „Про охорону праці”;
- Правила безпечної експлуатації електроустановок;
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- Правила пожежної безпеки в Україні, т.4;
- Правила техніки безпеки та виробничої санітарії.

Для забезпечення нормальної експлуатації об'єкту, проєктом передбачено:

- застосування електрообладнання відповідно до вимог вибухопожежної безпеки;
- виконання електропроводки відповідно до вимог ПУЕ та ПТЕ;
- заземлення та занулення електрообладнання.

Охорона праці при виконанні монтажних робіт та експлуатації електроустановок забезпечується дотриманням працівниками вимог ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та використання ними основних електрозахисних засобів[5].

Для забезпечення охорони праці і техніки безпеки проєктом передбачено:

- використання технічно досконалого обладнання;
- розміщення обладнання із забезпеченням нормованих відстаней між струмопровідними частинами різних фаз, а також між струмопровідними і заземленими частинами обладнання;

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- наявність надійного занулення та заземлення з нормованою величиною опору заземлюючого контуру.

Роботи в діючих електроустановках слід виконувати відповідно до наряду допуску. Робочі місця мають бути підготовлені, виконані необхідні оперативні перемикання, елементи, які можуть опинитися під напругою, огорожені[5].

Місця проведення робіт, шляхи евакуації мають бути позначені відповідними плакатами. Органи керування, за допомогою яких здійснюється подача напруги до зон проведення робіт, мають бути заблоковані та відповідним чином позначені.

У необхідних місцях має бути накладено заземлення. Перед проведенням робіт необхідно провести інструктаж з техніки безпеки. Під час проведення робіт необхідно суворо дотримуватися правил техніки безпеки. При проведенні робіт підвищеної небезпеки (зварювальних робіт, робіт на висоті) слід використовувати засоби індивідуального захисту.

Висновки до 4 розділу

Когенераційна установка забезпечує високу економічну ефективність, покриваючи значну частину потреб об'єкта в електроенергії та теплі, потужність двох когенераційних установок становить 3120 кВт і дозволяє покривати значну частину потреб об'єкта. Річна генерація забезпечує економію витрат електроенергії та зменшує залежність від зовнішнього постачання. Контейнерне виконання значно знижує витрати на будівельно-монтажні роботи та забезпечує мобільність. До переваг когенерації відноситься те що підвищується надійність електропостачання, зменшується навантаження на мережу, та одночасно виробляється електрична та теплова енергія. Завдяки допуску лише кваліфікаційних працівників з відповідними документами та передчасним інструктажем з правил безпеки, під час роботи з установками зменшуються ризики травм в період встановлення когенераційних установок. Обладнання використовується з вибухопожежним захистом, а кліматичні умови мають

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

відповідати санітарним нормам, рівень шуму не має перевищувати граничні рівні. Поєднання економічних та безпекових аспектів підтверджує, що впровадження когенераційної установки є раціональним та надійним рішенням для об'єкта.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ВИСНОВКИ

Висновки до розділу 1

Отже, розглянуті нормативно-правові документи, якими регламентуються роботи по встановленню та експлуатації обладнання встановлюють жорсткі норми. Розглянута класифікація автономних джерел живлення на основі двигунів внутрішнього згоряння для регіональних децентралізованих систем дає змогу виявити недоліки і переваги кожного виду. Зокрема, виявлено, що газопоршневі установки мають найбільший пріоритет, у порівнянні з подібними автономними джерелами живлення. Режими роботи децентралізованих джерел електроенергії мають ряд особливостей, які необхідно враховувати при їх проєктуванні та експлуатації. Найбільш ефективним є паралельний режим роботи з електричною мережею, який забезпечує оптимальне використання генеруючих потужностей та підвищує надійність електропостачання. Водночас реалізація такого режиму потребує дотримання вимог до синхронізації, релейного захисту та якості електроенергії.

Висновки до 2 розділу

Оскільки розрахункова потужність одного вводу становить 1560 кВт, вибір когенераційної установки виконується з урахуванням роботи у паралельному режимі з мережею, графіка навантаження та можливості покриття частини навантаження зовнішнім електропостачанням. Тому паспортна електрична потужність установки RSE 1200 розглядається як складова джерела розподіленої генерації, що працює разом з існуючою системою електропостачання об'єкта. Сумарна потужність двох когенераційних установок становить 3120 кВт, ця потужність відповідає потребам торговельно-офісного комплексу і дозволяє інтеграцію в мережу середньої напруги. Завдяки вибору газопоршневої когенераційної установки моделі RSE 1200 на базі двигуна MWM TCG 2020 V12 яка підтримує можливість утилізації тепла, та має високий електричний ККД підвищується загальний ККД до 87%. Значна частка локального споживання та підвищена енергозалежність об'єкта можлива завдяки річній генерації

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

електроенергії оціненій в 13,7 млн кВт·год. Загальний ККД стабільний незалежно від навантаження та економічний при часткових режимах роботи. Установа відповідає параметрам напруги, частоти, режиму роботи, типу палива та резервного живлення. Генератор відповідає потужності двигуна, що в свою чергу гарантує довговічність та стабільність роботи, а також він має належний клас захисту ізоляції. Завдяки контейнерному виконанню забезпечений швидкий монтаж, компактність, можливість розміщення безпосередньо біля об'єкта а також зниження шуму та захист від атмосферних впливів. Режим «Виробник» має можливість переходу у режим «Острів» при аварійному відключенні завдяки можливості роботи у паралельної роботи з мережею, синхронізацією через трансформатори напруги та релейний захист. Тому вибір когенераційної установки є технічно обґрунтованим та відповідає розрахунковим навантаженням об'єкта. Завдяки поєднанню виробництва електроенергії та теплової енергії установка забезпечує високу енергоефективність. Таким чином підтверджено доцільність впровадження газопоршневої когенераційної установки типу RSE 1200 на базі двигуна MWM TCG 2020 V12 як джерела розподіленої генерації для торгівельно офісного центру комплексу.

Висновки до 3 розділу

Вибрані технічні рішення гарантують надійність, точність та безпеку роботи газопоршневої когенераційної установки. Забезпечується прозорий двонаправлений облік споживання та генерації завдяки системі комерційного обліку побудованій на сучасних лічильниках та трансформаторах струму з високим класом точності. Надійність в нормальних та аварійних режимах відбуваються завдяки кабельній лінії із зшитого поліетилену, що відповідає вимогам пропускну здатності, втратам напруги та термічній швидкості. Існуючі шини та ізолятори витримують навантаження при коротких замиканнях без необхідності заміни. Розрахунки аварійних режимів ГПУ проаналізовані з урахуванням релейного захисту та автоматики показують, що система зберігає динамічну стійкість навіть при трифазних коротких замиканнях. Таким чином,

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

реалізація проекту є доцільною і забезпечує високий рівень енергоефективності та надійності електропостачання.

Висновки до 4 розділу

Когенераційна установка забезпечує високу економічну ефективність, покриваючи значну частину потреб об'єкта в електроенергії та теплі, потужність двох когенераційних установок становить 3120 кВт і дозволяє покривати значну частину потреб об'єкта. Річна генерація забезпечує економію витрат електроенергії та зменшує залежність від зовнішнього постачання. Контейнерне виконання значно знижує витрати на будівельно-монтажні роботи та забезпечує мобільність. До переваг когенерації відноситься те що підвищується надійність електропостачання, зменшується навантаження на мережу, та одночасно виробляється електрична та теплова енергія. Завдяки допуску лише кваліфікаційних працівників з відповідними документами та передчасним інструктажем з правил безпеки, під час роботи з установками зменшуються ризики травм в період встановлення когенераційних установок. Обладнання використовується з вибухопожежним захистом, а кліматичні умови мають відповідати санітарним нормам, рівень шуму не має перевищувати граничні рівні. Поєднання економічних та безпекових аспектів підтверджує, що впровадження когенераційної установки є раціональним та надійним рішенням для об'єкта.

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: Закон України «Про ринок електричної енергії» (дата звернення: 07.05.2026).
2. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу : Закон України. URL: Закон України про когенерацію (дата звернення: 07.05.2026).
3. Кодекс систем передачі : Постанова НКРЕКП № 309 від 14.03.2018. URL: Кодекс систем передачі (дата звернення: 07.05.2026).
4. Кодекс систем розподілу : Постанова НКРЕКП № 310 від 14.03.2018. URL: Кодекс систем розподілу (дата звернення: 07.05.2026).
5. Правила улаштування електроустановок. 4-те вид. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
6. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 166 с.
7. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будинках і спорудах. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
8. Кодекс комерційного обліку електричної енергії : Постанова НКРЕКП № 311 від 14.03.2018. URL: Кодекс комерційного обліку електричної енергії (дата звернення: 07.05.2026).
9. Diesel Power Generation Handbook. New York : McGraw-Hill, 2013. 512 p.
10. Марчук В. В. Газопоршнєві когенераційні установки: ключ до енергетичної безпеки та сталого розвитку України // Економіка та суспільство. 2024.
11. Ackermann T. Distributed Generation Systems: Design, Operation and Grid Integration. Hoboken : Wiley, 2012. 540 p.
12. Catalog of Gas Engine Systems. Mannheim : MWM GmbH, 2020.
13. Розподілена генерація в Україні: як децентралізовані рішення допомагають тримати тепло та водопостачання в умовах війни. URL: Кабінет Міністрів України — Розподілена генерація в Україні (дата звернення: 07.05.2026).

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Кузнецов В. Г. Релейний захист та автоматика електроенергетичних систем. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 320 с.

15. Чернюк А. М., Качанов Є. І., Черевик Ю. О., Оберемок З. В. Загальні засади забезпечення електропостачання в локальних децентралізованих енергосистемах *«Вісник Вінницького політехнічного інституту.»* 2021. №6. С. 88–92. DOI: 10.31649/1997-9266-2021-159-6-88-92.

16. International Energy Agency. Combined Heat and Power [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iea.org/reports/combined-heat-and-power> (дата звернення: 12.05.2026).

17. Cogen Europe [Електронний ресурс]. URL: <https://www.cogeneurope.eu> (дата звернення: 12.05.2026).

18. Danish Energy Agency [Електронний ресурс]. URL: <https://ens.dk/en> (дата звернення: 12.05.2026).

19. Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (Germany) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.bmwk.de/Navigation/EN/Home/home.html> (дата звернення: 12.05.2026).

20. Cogen Europe. Polish CHP Development Materials [Електронний ресурс]. URL: <https://www.cogeneurope.eu> (дата звернення: 12.05.2026).

21. U.S. Environmental Protection Agency. Combined Heat and Power Partnership [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/chp> (дата звернення: 12.05.2026).

22. Мікарт Енергі Когенераційні газопоршневі установки: роль та важливість в енергетичній системі України / Мікулін А. URL: <https://www.mikart-energi.com/koheneratsiyni-hazoporshnevi-ustanovky-rol-ta-vazhlyvist-v-enerhetychniy-systemi-ukrainy/> (дата звернення: 12.05.2026).

23. Паспорт модульна установка RSE 1200

24. VAP-BUD. URL: <https://vap-bud.com/> (дата звернення: 12.05.2026).

					02.03 – КР. 2606 «С» 2025.10.30 010 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ДОДАТОК А

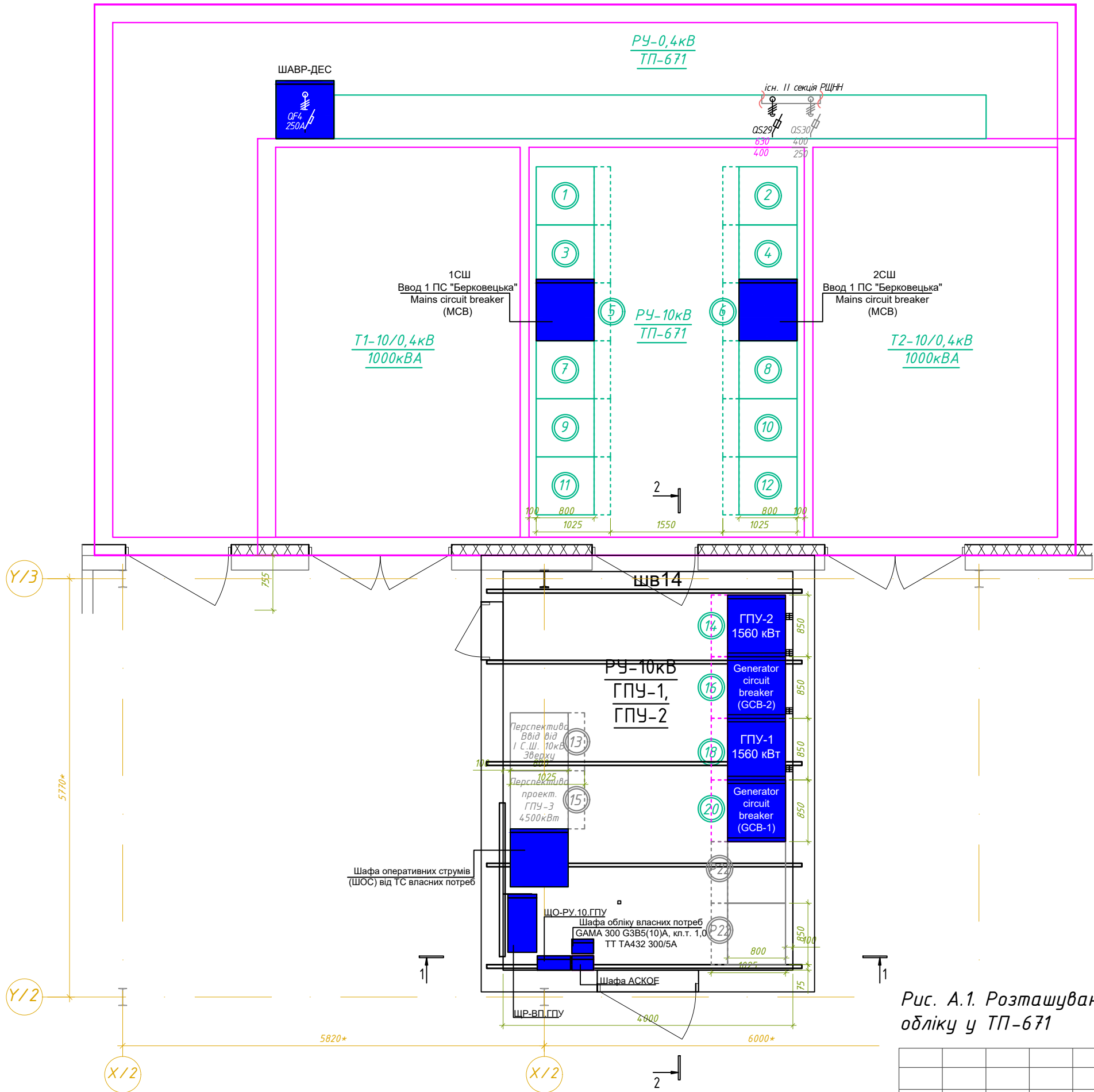


Рис. А.1. Розташування основного електрообладнання та вузлів комерційного обліку у ТП-671

						02.03-КР.2606"С" 2025.10.30 010 ПЗ		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата		Літ.	Аркуш
Розробив	Чугаєва А.М.					Обґрунтування вибору газопоршневої установки як джерела розподіленої генерації		Аркушів
Перевірів	Каплун В.В.						69	
Н.Контр.							ННІ ЕАІЕ	
Затвердив	Антипов Є.О.							



*Обґрунтування вибору
газопоршневої установки
як джерела розподіленої
генерації*

<i>Lim.</i>	<i>Арқуш</i>	<i>Арқушіб</i>
	<i>70</i>	
<i>HHI EAIE</i>		

ДОДАТОК В

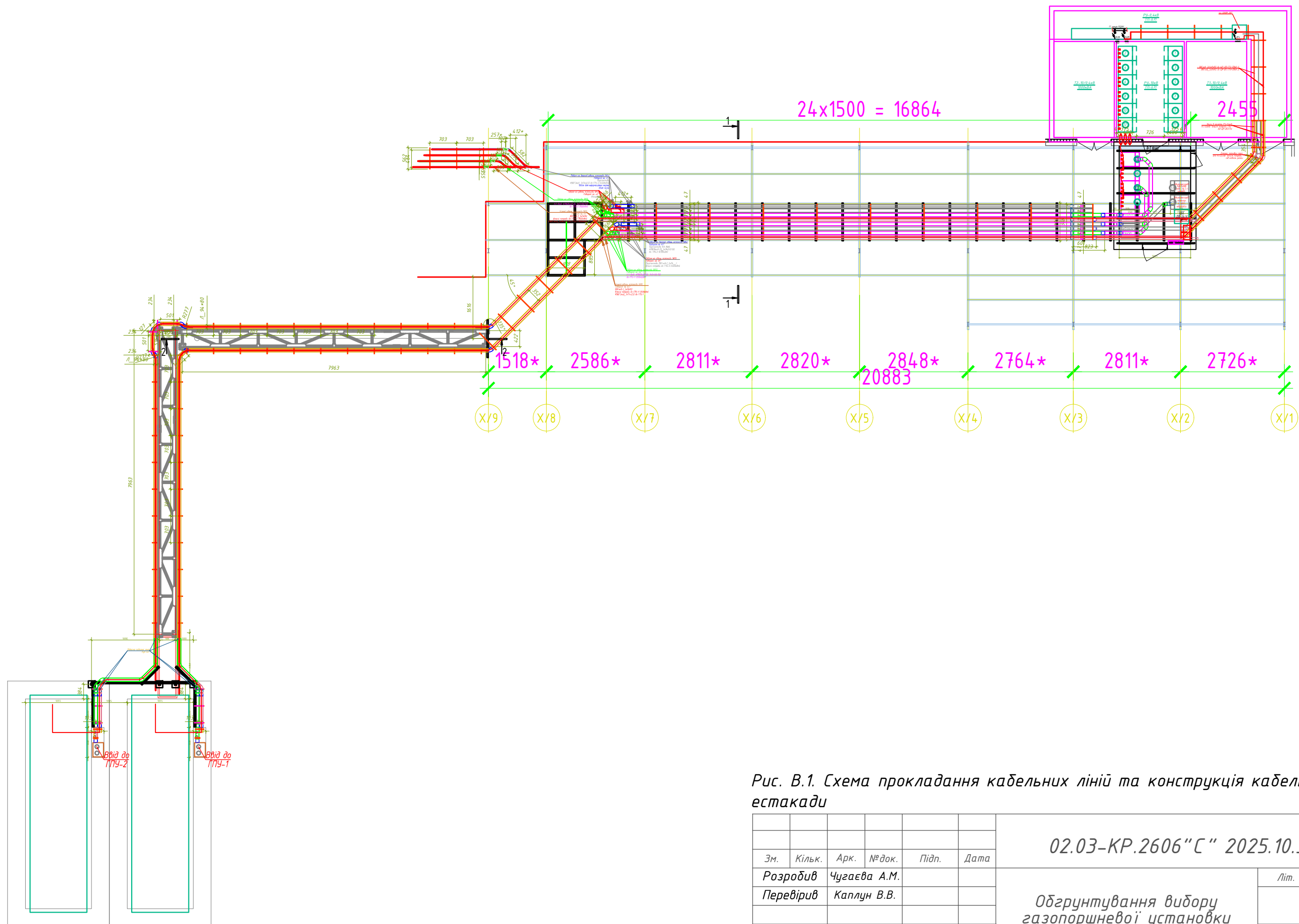


Рис. В.1. Схема прокладання кабельних ліній та конструкція кабельно-лоткової естакади

						02.03-КР.2606"С" 2025.10.30 010 ПЗ			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата				
Розробив	Чугаєва А.М.					Літ.		Аркуш	Архивіш
Перевірів	Каплун В.В.							71	
						Обґрунтування вибору газопоршневої установки як джерела розподіленої генерації			
Н.Контр.						ННІ ЕАІЕ			
Затвердив	Антипов Є.О.								

ДОДАТОК Д

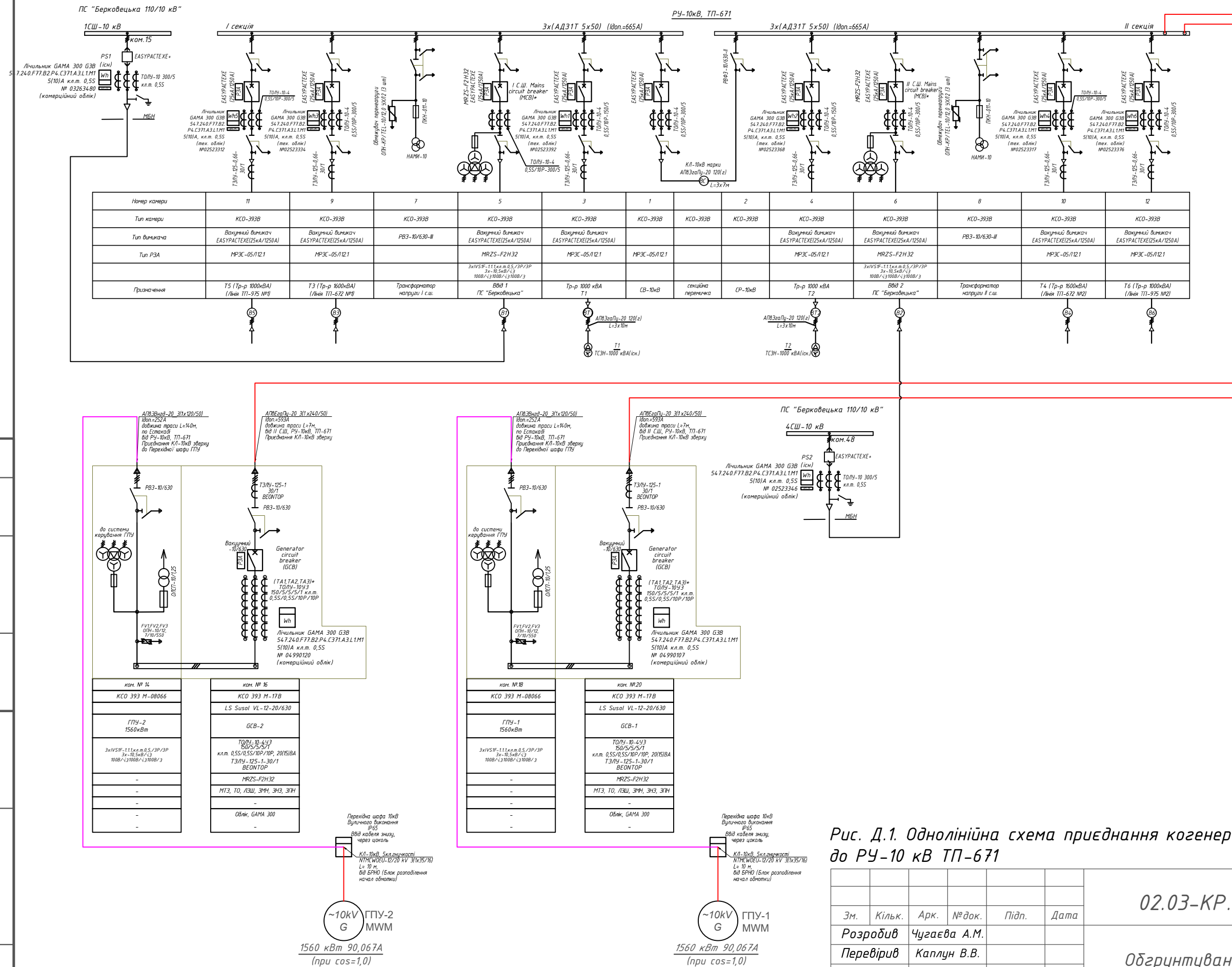


Рис. Д.1. Однолінійна схема приєднання когенераційних установок ГПУ-1 та ГПУ-2 до РУ-10 кВ ТП-671

						02.03-КР.2606"С" 2025.10.30 010 ПЗ						
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата							
Розробив	Чугаєва А.М.					Обґрунтування вибору газопоршневої установки як джерела розподіленої генерації						
Перевірів	Каплун В.В.									Літ.	Аркуш	Аркушів
											72	
										ННІ ЕАІЕ		
Н.Контр.												
Затвердив	Антипов Є.О.											