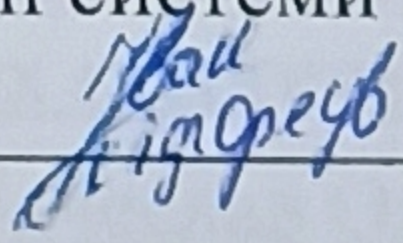
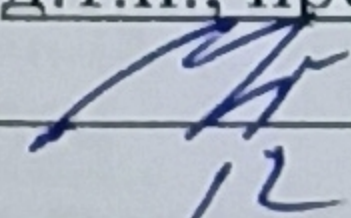


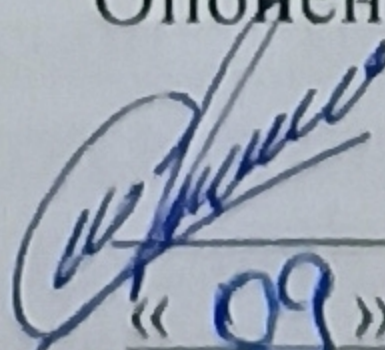
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричні станції та системи

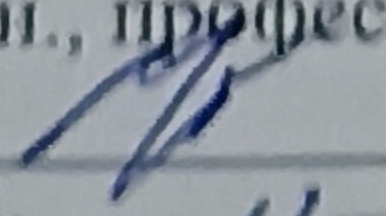
Магістерська кваліфікаційна робота на тему:

на тему: «Застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в задачах аналізу режимів локальних енергетичних систем»

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ЕСМ-23М
Спеціальності 141 - «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
За ОПП «Електричні системи та мережі»
Підгорець І.О. 

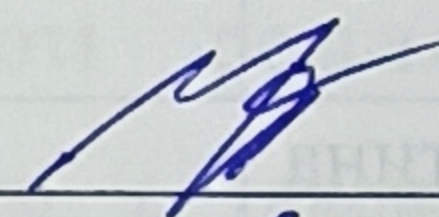
Керівник д.т.н., професор Комар В.О.

«08» 12 2024 р.

Опонент: Ph.D., доц. нагр. ЕСЕМ
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Кобзар І.В.
«09» 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.

«08» 12 2024р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика та електротехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.


«17» 12 2024р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Підгорцю Івану Олексійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в задачах аналізу режимів локальних енергетичних систем

керівник роботи д.т.н., професор Комар Вячеслав Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від №310 від 17.09.2024 р.

2. Строк подання студентом роботи 28.11.2024

Вихідні дані: 1. Комар В.О., Сікорська О.В. Автоматизовані системи керування електричних станцій. Силабус.-2022.-с.8; 2. Чернявський А.В., Якобюк Д.В. Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об'єктів нафтодобувної галузі // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2014. - №2. - С 111-115; 3. Kothari D.P., Verma H., Singh S.P. Optimal placement of phasor measurement units for state estimation in power systems using genetic algorithm // Electric Power Systems Research. – 2009. – Vol. 79, Issue 7. – P. 1008-1015; 4. Поліщук О.А. Автоматизовані системи обліку електроенергії: навч. посіб. - Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2015.-136с.

3. Графічна частина: Схеми: Типовий розподіл систем автоматизованого обліку електроенергії. АСКОВ з передачею даних через силову мережу 0,4 кВ Використання GSM-модему в системі автоматизованого обліку електроенергії Структура автоматизованої системи керування для розподілених джерел енергії Спрощена схема функціонування енергосистеми. Концепція побудови систем управління та спостереження за енергосистемою з елементами відновлювальних енергетик. Аналіз економічного ефекту від впровадження систем управління розподіленим генеруванням. Обчислення IBR (внутрішньої норми прибутку).

4. Короткий зміст частин роботи
Вступ. 1.Загальні відомості про автоматизовану систему комерційного
електричної енергії. 2.Застосування Smart Grid технології для підвищення
ефективності використання відновлюваних джерел енергії. 3.Штучний інтелект
енергетиці 4.Технологічні аспекти переходу до локальної генерації електроенергії
Технічні та інформаційні засоби для аналізу роботи електричних мереж
Висновки. Список використання джерел. Додатки

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Комар В.О., д.т.н., професор	« <u>17</u> » <u>09</u> 2024	« <u>04</u> » <u>12</u> 2024
Економічна частина	Остра Н.В., к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС	« <u> </u> » <u> </u> 2024	« <u> </u> » <u> </u> 2024

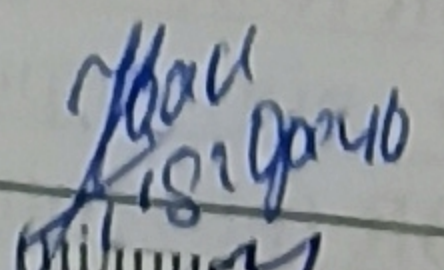
6. Дата видачі завдання «17» вересня 2024 р.

7. КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи		Пр
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	21.09.24	29.09.24	
2	Вступ. Огляд літературних джерел			
3	Виконання теоритичної частини МКР.	30.09.24	10.10.24	
4	Формування висновків по роботі	11.10.24	05.11.24	
5	Оформлення пояснювальної записки	06.11.24	12.11.24	
6	Виконання графічної частини та оформлення презентації	13.11.24	17.11.24	
7	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	18.11.24	27.11.24	
8	Рецензування МКР	28.11.24	01.12.24	
9	Захист МКР	01.12.24	04.12.24	
		За графіком		

Студент

Керівник роботи



(підпис)

Підгорець І.О.
(прізвище та ініціали)

Комар В.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Підгорець Іван Олексійович «Застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в задачах аналізу режимів локальних енергетичних систем». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2024. – 84 с. Бібліогр.: 25. Рис. : 16. Табл. : 2.

У дипломній роботі досліджується роль автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) у контексті аналізу режимів локальних енергетичних систем. У роботі розглядаються основи проектування та функціонування таких систем, а також їх значення для моніторингу та оптимізації споживання електричної енергії на рівні малих енергетичних мереж.

Основну увагу приділено аналізу можливостей автоматизованих систем у забезпеченні точного збору та обробки даних про споживання електроенергії, а також їх впливу на зниження енергетичних втрат, підвищення ефективності використання енергії та покращення економічних показників.

У роботі запропоновані рекомендації щодо оптимізації процесів збору і аналізу даних, що дозволяють покращити надійність і стабільність енергетичних систем. Таким чином, виконане дослідження має значення для розвитку енергетичних технологій, що сприяють підвищенню ефективності локальних енергетичних мереж та зниженню витрат на енергопостачання, а також для покращення якості послуг споживачам електричної енергії.

Ключові слова: автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) відновлювані джерела енергії, локальні енергетичні системи, аналіз режимів, електромережі, зниження витрат, програмне забезпечення, економічна ефективність, збір даних, точність вимірювань

ABSTRACT

Pidhorets Ivan Oleksiiiovych "Application of automated systems of commercial electricity accounting in tasks of analysis of modes of local energy systems". Master's qualification thesis. – Vinnytsia: VNTU. - 2024. - 84 p. Bibliogr.: 25. Fig. : 16. Table. : 2.

The thesis examines the role of automated systems of commercial electricity accounting (ASCOE) in the context of the analysis of modes of local energy systems. The work considers the basics of designing and functioning of such systems, as well as their importance for monitoring and optimizing electricity consumption at the level of small energy networks.

The main attention is paid to the analysis of the capabilities of automated systems in ensuring the accurate collection and processing of data on electricity consumption, as well as their impact on reducing energy losses, increasing the efficiency of energy use, and improving economic indicators.

The work offers recommendations for optimizing the processes of data collection and analysis, which allow to improve the reliability and stability of energy systems. Thus, the performed research is important for the development of energy technologies that contribute to increasing the efficiency of local energy networks and reducing energy supply costs, as well as to improving the quality of services to electricity consumers.

Keywords: automated systems of commercial electricity metering (ASCOE), renewable energy sources, local energy systems, mode analysis, power grids, cost reduction, software, economic efficiency, data collection, measurement accuracy

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АВТОМАТИЗОВАНУ СИСТЕМУ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	7
1.1 Недосконалість процесів збору та аналізу даних приладів обліку	7
1.2 Ключові концепції та архітектура системи автоматизованого комерційного обліку електроенергії	8
1.3 Перелік переваг застосування автоматизованих систем комерційного обліку (АСКОЕ).....	9
1.4 Впровадження АСКОЕ у світі.....	10
1.5 Розвиток ринку АСКОЕ в Україні	13
1.6 Зменшення втрат електроенергії завдяки АСКОЕ.....	15
1.7 Вимоги до системи обліку електроенергії з віддаленим збором даних..	17
1.8 Введення в експлуатацію системи АСКОЕ	18
1.9 Структура інформаційно-вимірювальної системи.....	19
1.10 Види АСКОЕ.....	21
1.10.1 Провідні АСКОЕ.....	21
1.10.2 Бездротові АСКОЕ	24
1.11 Характеристики цифрових приладів, які входять до складу АСКОЕ...29	
1.11.1 Багатофункціональні лічильники електроенергії	29
1.11.2 Прилади збору та передачі даних	31
1.11.3 GSM/GPRS-модем	32
2. ЗАСТОСУВАННЯ SMART GRID ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕД ЕНЕРГІЇ.....	34
2.1 Задачі керування та оптимізації електромереж з великою часткою відновлюваних джерел енергії	34
2.2 Системи автоматичного управління відновлюваними джерелами енергії в електромережах	36

3. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ЕНЕРГЕТИЦІ	43
3.1 Штучний інтелект як рушійна сила трансформації енергетичного сектору	43
3.2 Впровадження штучного інтелекту в енергетичний сектор	43
3.3 Штучний інтелект сприяє розвитку розумних мереж	47
4. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕХОДУ ДО ЛОКАЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	49
4.1 Сучасні енергетичні мережі	49
4.2 Тенденції розвитку електричних мереж.....	49
4.3 Тенденції розвитку локальних джерел енергії в Україні	49
5. ТЕХНІЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ЗАСОБИ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВДЕ	52
5.1 Оптимізація роботи енергосистем за допомогою Big Data і Smart Grid.	52
5.2 Структура системи моніторингу та управління енергосистемою, що використовує відновлювальні джерела енергії	56
5.3 Усунення обмежень, пов'язаних з недостатнім обсягом та якістю початкових даних.....	61
ВИСНОВОК	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
ДОДАТОК А. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ.....	73
ДОДАТОК Б. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	74

ВСТУП

Актуальність теми. Енергоефективність сьогодні є одним з найгостріших питань, особливо для України. Ефективне використання електроенергії є ключовим фактором для економічного зростання та енергетичної незалежності країни. Одним з ефективних шляхів досягнення енергоефективності стало широке застосування автоматизованих систем моніторингу електроспоживання.

В умовах постійного зростання споживання електроенергії та збільшення навантажень на енергетичні системи, ефективний облік та аналіз режимів їх роботи стає надзвичайно важливим. Застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) дозволяє не лише підвищити точність вимірювання споживання електроенергії, але й забезпечити оперативний доступ до даних для їх подальшого аналізу.

Автоматизація процесів обліку електроенергії сприяє зменшенню витрат, покращенню управління енергетичними ресурсами та оптимізації процесів розподілу. АСКОЕ забезпечують реальний моніторинг енергетичних режимів, що дозволяє виявляти аномалії, прогнозувати навантаження та планувати технічне обслуговування.

Локальні енергетичні системи, які часто включають відновлювальні джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові електростанції, вимагають особливого підходу до обліку і моніторингу. У цих системах коливання споживання та виробництва електроенергії можуть бути значними, тому їх управління вимагає застосування сучасних технологій. АСКОЕ не лише сприяють інтеграції різних джерел енергії, але й забезпечують можливість адаптації до змінюваних умов експлуатації.

Крім того, локальні енергетичні системи мають значний потенціал для розвитку децентралізованих моделей енергетики, що сприяє зменшенню залежності від центральних електромереж. Застосування АСКОЕ в таких системах дозволяє створити більш прозору структуру обліку та споживання, що важливо для залучення інвестицій та розвитку місцевих ініціатив.

Особливо важливим є використання таких систем у локальних енергетичних системах, де часто спостерігаються специфічні умови експлуатації та коливання в споживанні електроенергії. АСКОЕ надають можливість інтеграції різних джерел енергії, що є критично важливим у контексті переходу до відновлювальних джерел енергії та зниження екологічного навантаження.

Дослідження в рамках дипломної роботи не тільки розширює наші знання про можливості АСКОЕ, але й пропонує конкретні рекомендації для їх вдосконалення та більш ефективного використання в енергетичних системах.

Метою дослідження є аналіз застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в задачах аналізу режимів локальних енергетичних систем

Об'єкт дослідження: системи автоматизованого обліку електричної енергії

Предмет дослідження: підвищення ефективності інформаційної структури автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АВТОМАТИЗОВАНУ СИСТЕМУ КОМЕРЦІЙНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Недосконалість процесів збору та аналізу даних приладів обліку

Сучасна система збору даних з електролічильників має ряд недоліків, пов'язаних з необхідністю щомісячних обходів та ручного зняття показань. Це призводить до проблем з доступом до лічильників та збільшення витрат на обслуговування. З метою уникнення суб'єктивних помилок, пов'язаних з ручним зняттям показань, та оптимізації процесів обліку електроенергії, доцільно впроваджувати системи АСКОЕ. Такі системи забезпечують високу точність вимірювань та мінімізують трудові витрати.

Впровадження АСКОЕ дозволяє значно зменшити втрати електроенергії в розподільних мережах та підвищити ефективність роботи енергопостачальних компаній. Це, в свою чергу, створює умови для запровадження більш гнучких тарифних планів, які відповідають індивідуальним потребам споживачів.

Автономні системи не лише оптимізують споживання електроенергії на рівні окремих споживачів, а й сприяють стабільності роботи енергосистеми в цілому, зменшуючи ризик перевантажень мережі. Вони також забезпечують точніші розрахунки вартості спожитої електроенергії для кожного абонента. Досвід інших країн свідчить про високу ефективність систем АСКОЕ. Впровадження таких систем в Україні дозволяє не лише зменшити витрати на електроенергію, але й підвищити якість послуг для споживачів та забезпечити стабільну роботу енергосистеми в цілому.

Глибоке вивчення технологій автоматизованого комерційного обліку електроенергії та їх практичного застосування є актуальним завданням, яке дозволить оптимізувати роботу енергосистем, підвищити точність обліку та забезпечити ефективне управління енергоспоживанням.

1.2 Ключові концепції та архітектура системи автоматизованого комерційного обліку електроенергії

Достовірний облік – це фундамент для забезпечення стабільної та якісної електроенергії. Лічильники відіграють в цьому процесі головну роль. З моменту винайдення першого електромеханічного лічильника в 1889 році облік електроенергії здійснювався переважно за допомогою ручного зняття показань. Лише з кінця 90-х років минулого століття в Україні почався перехід до автоматизованих систем, які дозволили значно підвищити точність обліку, скоротити витрати на його здійснення та покращити якість послуг електропостачання.

Ключові завдання системи автоматизованого комерційного обліку електроенергії включають:

- отримання інформації від інноваційних приладів обліку електроенергії;
- автоматизований процес збору та передачі даних з мережі на сервер;
- генерування таблиць з даними про споживання та параметри електроенергії.

Зростаюча кількість електроприладів у побуті та на виробництві призвела до значного збільшення навантаження на енергосистему. Для забезпечення стабільної роботи мереж та ефективного управління енергоресурсами стало необхідним впровадження автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії, яка дозволяє контролювати споживання в режимі реального часу та своєчасно вживати необхідних заходів.

Завдяки цій системі стало можливим здійснювати детальний контроль за споживанням електроенергії, зокрема впроваджувати диференційовані тарифи, що стимулювало споживачів до більш раціонального використання електроенергії.

Широке впровадження АСКОЕ відкриє шлях до лібералізації ринку електроенергії, що призведе до значного скорочення споживання викопного

палива та поліпшення екологічної ситуації в країні. АСКОЕ – це сучасна автоматизована система, яка об'єднує в собі засоби збору даних з лічильників, потужні обчислювальні ресурси та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Система дозволяє проводити моніторинг параметрів електромережі в режимі реального часу, виявляти відхилення від нормальних значень, аналізувати причини виникнення аварійних ситуацій та розробляти заходи щодо їх усунення.

Основним засобом вимірювання електроенергії в системах АСКОЕ є електронні лічильники. Державний реєстр України містить детальний перелік моделей таких лічильників, які відрізняються за номінальним струмом, напругою, класом точності та іншими параметрами, що дозволяє обрати оптимальний прилад для конкретного об'єкта обліку з урахуванням особливостей електромережі та вимог до точності вимірювань.

1.3 Перелік переваг застосування автоматизованих систем комерційного обліку (АСКОЕ)

Впровадження автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в локальних енергетичних системах забезпечує значні переваги як для енергопостачальних компаній, так і для споживачів. Давайте розглянемо їх детальніше:

Для енергопостачальних компаній:

- Підвищення точності обліку: АСКОЕ мінімізує людський фактор при знятті показань, що призводить до більш точних даних про споживання електроенергії.
- Зменшення втрат електроенергії: Завдяки оперативному контролю над споживанням, можна виявляти та усувати несанкціоновані підключення та інші причини втрат електроенергії.
- Оптимізація витрат: Збільшення точності обліку дозволяє більш ефективно планувати закупівлю електроенергії та оптимізувати витрати.
- Покращення якості обслуговування клієнтів: Завдяки автоматизації процесів обліку та розрахунків, споживачі отримують більш точні та своєчасні рахунки.

- Спрощення процесів звітності: АСКОЕ автоматизує збір та обробку даних, що значно спрощує підготовку звітів для регуляторних органів.
- Можливість впровадження нових послуг: На основі даних, зібраних АСКОЕ, можна розробляти нові послуги для споживачів, такі як динамічна тарифікація, енергоменеджмент тощо.

Для споживачів:

- Прозорість розрахунків: Споживачі отримують детальні звіти про своє споживання електроенергії, що дозволяє їм контролювати свої витрати.
- Можливість порівняння та вибору тарифів: Завдяки детальній інформації про споживання, споживачі можуть вибрати найбільш оптимальний тарифний план.
- Стимулювання енергоефективності: АСКОЕ може використовуватися для моніторингу споживання електроенергії в реальному часі, що стимулює споживачів до більш раціонального використання енергоресурсів.
- Можливість дистанційного управління споживанням: Деякі системи АСКОЕ дозволяють споживачам віддалено контролювати своє споживання за допомогою мобільних додатків або веб-інтерфейсів.

Для енергетичної системи в цілому:

- Підвищення надійності: АСКОЕ дозволяє своєчасно виявляти та усувати аварійні ситуації, що підвищує надійність електропостачання.
- Сприяння розвитку ринку електроенергії: Точний облік та прозорі розрахунки є важливими умовами для розвитку конкурентного ринку електроенергії.
- Сприяння енергоефективності: Завдяки АСКОЕ можна виявляти потенціал для енергозбереження та впроваджувати відповідні заходи.

Підсумовуючи, впровадження АСКОЕ є важливим кроком для модернізації енергетичного сектору та підвищення його ефективності. Ці системи дозволяють оптимізувати витрати, підвищити якість обслуговування споживачів та сприяти розвитку енергоефективних технологій.

1.4 Впровадження АСКОЕ у світі

З метою підвищення ефективності та надійності енергопостачання, енергетична галузь все більше уваги приділяє розробці та впровадженню

інтелектуальних мереж. Ці системи, які також називають Future Grid, Empowered Grid та іншими, дозволяють оптимізувати виробництво, передачу та споживання електроенергії. Ця глобальна тенденція свідчить про прагнення

Італія (Enel, ACEA)  Пілотний проект на період 2002–2006 рр. – установлення 32 млн «розумних» приладів обліку (п.о). Відповідно до розпорядження італійського регулятора №292/06 до 2012 р. передбачається впровадити у 100% споживачів «розумні» п.о.	Іспанія (Endesa)  Пілотний проект на період 2008-2010 рр. – установлення 28 млн «розумних» п.о. Відповідно до постанови уряду № 110 від 2008 р., у 2011–2018 рр. – мають бути оснащеними «розумними» п.о. 100% споживачів	Франція (ERDF)  Пілотний проект на період 2007-2013 рр. впровадження 35 млн «розумних» п.о.
Швеція (VATTENFALL)  У 2009 р. впроваджено «розумних» п.о. – у 100% споживачів	Євросоюз  щорічно виділяється 1200 млн євро на дослідження у сфері «розумних» п.о.	Фінляндія (Landis+Gir)  Регулятор зобов'язується до 2014 р. впровадити «розумні» п.о. у 80% споживачів
Нова Зеландія (Genesis Energy)  Сьогодні 100% споживачів оснащено «розумними» п.о.	Норвегія (E.ON)  Регулятор зобов'язується до 2015 р. впровадити «розумні» п.о. у 100% споживачів	Китай (General Electric)  До 2013 р. планує встановити «розумні» п.о. у 100% споживачів

країн вдосконалити свої енергосистеми та ефективніше використовувати енергоресурси.

Рисунок 1.1 - Компанії в різних країнах активно розробляють програмне забезпечення, необхідне для впровадження систем розумних лічильників (Smart Metering)

Сучасні енергетичні системи мають забезпечувати тісну взаємодію між споживачами та виробниками електроенергії. Автоматизовані процеси мають регулювати роботу всіх елементів системи, від генерації до кінцевого споживання.

Сучасні технології дозволяють значно підвищити пропускну здатність електричних мереж, забезпечуючи ефективне постачання електроенергії.

Особливо актуальним це є у контексті зростання кількості відновлюваних джерел енергії. Одним з ключових елементів таких "розумних" мереж є системи Smart Metering, які оптимізують використання енергоресурсів.

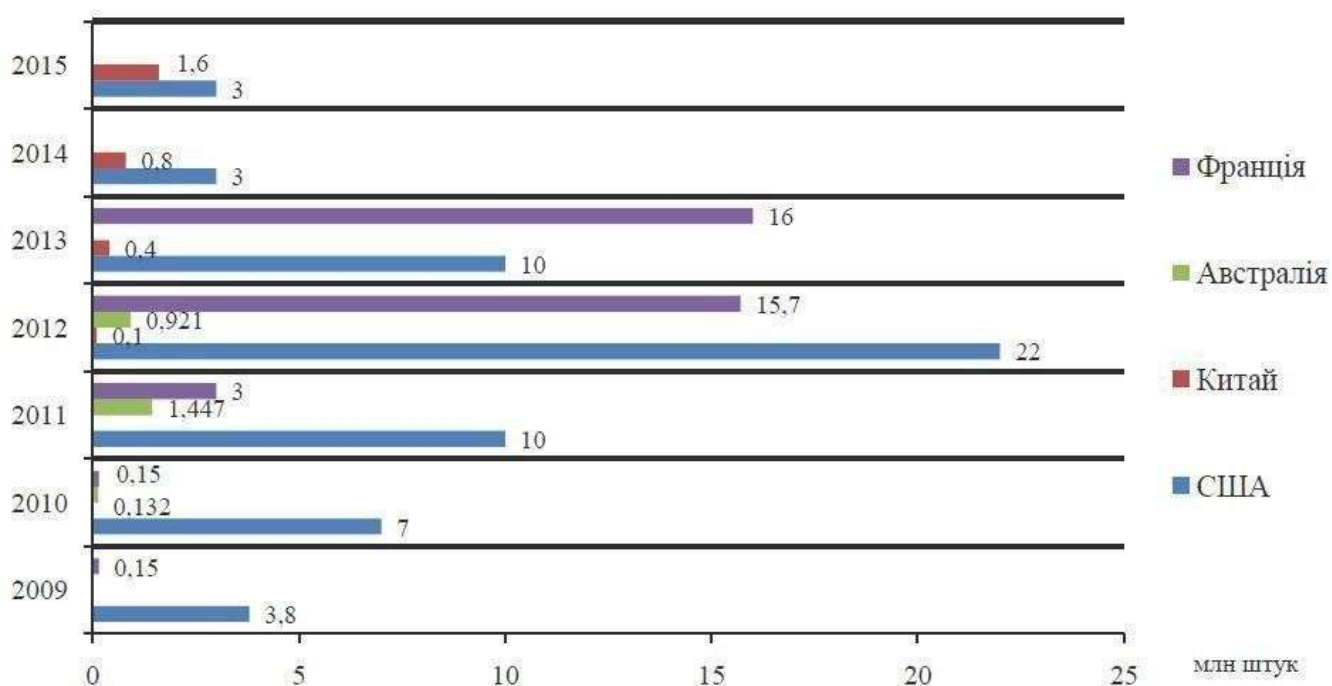


Рисунок 1.2 - План встановлення інтелектуальних приладів в окремих країнах

Завдяки технологіям Smart Grid очікується скорочення викидів парникових газів на понад 1 мільярд тонн до 2020 року, що суттєво сприятиме боротьбі зі зміною клімату. Забезпечення стабільного і якісного електропостачання за різними тарифами, з урахуванням даних про вартість та обсяги виробництва електроенергії на централізованих та місцевих станціях, є ключовим завданням при впровадженні нових енергетичних технологій.

Сьогодні спостерігається глобальна тенденція до переходу на інтелектуальні системи обліку електроенергії (Smart Metering). Країни, такі як Нова Зеландія, Австралія, Китай та Великобританія, вже повністю перейшли на "розумні" лічильники, а Франція та США активно впроваджують їх у масштабах цілих країн.

Європейський Союз планує інвестувати понад 80 мільярдів доларів у розвиток інтелектуальних мереж до 2020 року, з акцентом на впровадження

"розумних" лічильників. Ці інвестиції спрямовані на підвищення енергоефективності, зниження споживання електроенергії на 20% та зменшення негативного впливу на довкілля.

1.5 Розвиток ринку АСКОЕ в Україні

Точний і достовірний облік електроенергії є фундаментальною умовою ефективного функціонування енергетичного ринку України. Перехід до ринкових відносин ставить перед економікою нові виклики, які вимагають впровадження сучасних технологій збору, обробки та передачі даних. Це стосується, зокрема, створення ефективних систем обліку, контролю та управління інформаційними потоками, що забезпечать прозорість та конкуренцію на ринку.

Перехід до нової моделі оптового ринку електроенергії передбачає декілька етапів: спочатку впровадження двосторонніх договорів і балансуючого ринку, а потім створення організованого ринку торгівлі електроенергією. АСКОЕ є незамінним інструментом для забезпечення прозорості та ефективності торгових процесів на оптовому ринку. Впровадження АСКОЕ на ОРЕ дозволить забезпечити точний і достовірний облік електроенергії, що є необхідною умовою для ефективного функціонування ринку.

Проект впровадження АСКОЕ дозволить забезпечити погодинний облік електроенергії на межах балансової належності, що є необхідною умовою для ефективного управління енергосистемою та забезпечення прозорості розрахунків. Постанови Кабінету Міністрів від 15.07.2010 р. №№ 815-820 прямо вказують на те, що дані АСКОЕ є єдиним достовірним джерелом інформації для здійснення торгових операцій на оптовому ринку електроенергії. Використання обладнання, сертифікованого за міжнародними стандартами, є обов'язковою умовою для забезпечення достовірності даних комерційного обліку електроенергії.

Станом на кінець березня 2011 року в Україні було введено в експлуатацію 106 автоматизованих систем комерційного обліку (АСКОЕ). Це свідчить про значні успіхи у впровадженні сучасних технологій обліку електроенергії. З них 46 систем були зареєстровані Головним оператором та використовуються для проведення розрахунків на оптовому ринку електроенергії. Серед постачальників з регульованими тарифами рівень впровадження АСКОЕ склав 89%, а серед виробників електроенергії – 93%. Це свідчить про високий рівень готовності учасників ринку до роботи з даними АСКОЕ та сприяє підвищенню прозорості та ефективності торгових процесів.

Постановами НКРЕ від 15.07.2010 року були доповнені Умови та Правила здійснення підприємницької діяльності з виробництва та постачання електроенергії, що зробило використання даних АСКОЕ обов'язковим для всіх учасників оптового ринку електроенергії. З метою оптимізації процесів розрахунків на Оптовому ринку електроенергії (ОРЕ) та забезпечення їх прозорості, ДП "Енергоринок" спільно з Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг (НКРЕ), Міністерством енергетики та вугільної промисловості України, ДП "Національна енергетична компанія "Укренерго" та НАК "Енергетична компанія України" розробили та подали на затвердження НКРЕ пропозиції щодо внесення змін до "Інструкції про порядок здійснення розрахунків на ОРЕ України". Ці зміни спрямовані на вдосконалення процедури розрахунків за даними автоматизованих систем комерційного обліку (АСКОЕ), що дозволить підвищити точність розрахунків та забезпечити справедливі умови для всіх учасників ринку.

Український ринок пропонує широкий спектр послуг з розробки та впровадження автоматизованих систем обліку електроенергії для оптового ринку. Місцеві системні інтегратори створюють сучасні рішення, а поява багатотарифних та "розумних" електролічильників сприяє розвитку автоматизації обліку на великих підприємствах.

Завдяки інвестиціям у модернізацію обладнання, зокрема впровадженню автоматизованих систем комерційного обліку (АСКОЕ), рівень технологічних втрат електроенергії в мережах обласних енергопостачальних компаній у 2018 році знизився на 0,60% порівняно з попереднім роком і склав 10,68% від загального обсягу електроенергії. Також вдалося зменшити понаднормативні втрати на 0,36% до 1526413 тис. кВт·год. Застосування недосконалої методики розрахунку нормативних витрат призводить до спотворення реальної картини технологічних втрат електроенергії, зокрема комерційних, що ускладнює ефективне управління енергетичними ресурсами.

Аналіз даних щодо технологічних втрат електроенергії в обленерго виявив парадоксальну ситуацію: у більшості областей України фактичні втрати виявилися нижчими за встановлені нормативи, що призвело до негативного значення понаднормативних втрат. Зокрема, в Кіровоградській області цей показник нижчий за норму на 4,82%, в Сумській – на 3,72%, в Одеській – на 1,82%, в Житомирській – на 1,72%, а в Волинській – на 1,02%. Загалом, різниця між фактичними та нормативними значеннями технологічних втрат електроенергії по всіх обленерго перевищує 1,5 млрд. кВт·год. Така ситуація вимагає детального аналізу, оскільки вона може свідчити про недосконалість методики розрахунку нормативів або про інші фактори, які впливають на точність обліку електроенергії.

Незважаючи на значні втрати від крадіжок електроенергії, які за оцінками експертів складають сотні мільйонів гривень, енергопостачальні компанії недостатньо уваги приділяють системному аналізу цієї проблеми. Особливо гострою ця ситуація є в побутовому секторі, де обсяги крадіжок можуть зростати через підвищення тарифів і зниження платоспроможності населення.

1.6 Зменшення втрат електроенергії завдяки АСКОЕ

Величина втрат електроенергії та її динаміка є прямим відображенням технічного стану електричних мереж та рівня їх експлуатації. Значні втрати

електроенергії в українських мережах, які складають 11-13% замість нормативних 4-5%, призводять до додаткових витрат для споживачів та знижують енергоефективність системи в цілому.

Причини значних втрат електроенергії в розподільчих мережах:

1. Невідповідність технічних характеристик елементів мережі нормативним вимогам;
2. Робота мережі в режимах, що не забезпечують мінімальні втрати електроенергії;
3. Недостатня кількість або відсутність пристроїв для регулювання напруги та струму;
4. Відсутність або недостатня ефективність систем компенсації реактивної потужності, що призводить до підвищених втрат і зниження якості електроенергії;
5. Значні коливання споживання електроенергії в часі, що ускладнює оптимальне управління мережею;
6. Недосконалість систем обліку електроенергії, що призводить до неточності вимірювань і втрат електроенергії;
7. Збільшення кількості споживачів з нелінійними та несиметричними навантаженнями, що негативно впливає на якість електроенергії та сприяє додатковим втратам.

Незважаючи на встановлені норми, фактичні небаланси електроенергії в розподільчих мережах енергосистем регулярно перевищують їх, іноді досить суттєво. Характерною особливістю цих небалансів є їхня нестабільність та постійна тенденція до зростання, що спостерігається як на рівні окремих підстанцій, так і в мережах загалом. Через недосконалість приладів обліку електроенергії отримані дані є неточними, що ускладнює точний розрахунок та аналіз втрат електроенергії.

Чотири основні чинники впливають на величину фактичних втрат:

- втрати, зумовлені фізичними явищами нагрівання провідників та інших елементів електричних мереж під час проходження електричного струму;
- енерговитрати, пов'язані з функціонуванням електрообладнання підстанції, систем вентиляції, освітлення, опалення та інших споживачів, необхідних для забезпечення безперебійної роботи підстанції та створення належних умов праці для обслуговуючого персоналу;
- втрати, пов'язані з похибками вимірювання електроенергії;
- необліковані втрати електроенергії, спричинені недобросовісними діями споживачів, такими як крадіжки, махінації з лічильниками та затримки платежів.

Комерційні втрати можна класифікувати на чотири основні типи:

1. необлікована електроенергія через недосконалість системи обліку;
2. неточності у виставленні платіжних документів;
3. збитки від несанкціонованого споживання електроенергії;
4. фінансові наслідки несплати вчасно.

1.7 Вимоги до системи обліку електроенергії з віддаленим збором даних

Для забезпечення ефективного управління енергоресурсами та оптимізації витрат система дистанційного збору даних про споживання електроенергії повинна мати наступні можливості:

1. Проведення регулярних вимірювань: Здійснення щогодинних та щохвилинних вимірювань повної, активної та реактивної потужностей у вузлах мережі для визначення обсягів передачі та відпуску електроенергії.;
2. Регулярний збір та зберігання даних: Автоматизований збір даних вимірювань з заданою періодичністю та їх архівування у базі даних строком на чотири роки з додатковим резервним копіюванням на зовнішні носії;

3. Централізований збір даних в реальному часі: Централізований збір даних з усіх ІВК електроенергії з можливістю отримання актуальних показань за будь-який момент часу за вимогою оператора.;
4. Контроль цілісності даних: Перевірка повноти та коректності інформації, що надходить від усіх контрольованих вузлів;
5. Оцінка працездатності: Аналіз та оцінка ефективності роботи вимірювального обладнання та програмних систем;
6. Гнучка конфігурація: Можливість налаштування всіх необхідних параметрів роботи системи, включаючи режими вимірювань, навіть при віддаленому доступі;
7. Синхронізація часу та обмін даними: Забезпечення точної синхронізації часу з похибкою не більше ± 5 секунд за добу та автоматичний обмін результатами вимірювань з іншими учасниками ринку електроенергії відповідно до умов укладених договорів;
8. Контроль стану електромережі: Моніторинг роботи електромережі для забезпечення стабільної подачі електроенергії;
9. Налаштування аналізу під свої потреби: Можливість адаптувати систему аналізу до конкретних потреб користувача шляхом вибору необхідних показників та методів розрахунку.

1.8 Введення в експлуатацію системи АСКОЕ

Процес створення систем обліку включає такі етапи:

1. Звернення за технічними вимогами: Замовник повинен подати офіційний запит до енергопостачальної компанії для отримання технічних вимог. Отримані вказівки будуть використані як основа для розробки проектної документації.
2. На основі затвердженого технічного завдання та робочого проекту було визначено необхідне обладнання, яке зараз передається підряднику. Це обладнання є невід'ємною частиною проекту і буде використано для виконання

всіх запланованих робіт. Далі всі дії підрядника будуть здійснюватися відповідно до затверджених технічних рішень.

3. Для забезпечення безперебійного електропостачання об'єкта, проектна документація повинна відповідати вимогам енергосистеми. Тому перед початком будівельних робіт необхідно отримати технічні умови від енергопостачальної компанії та узгодити проект з урахуванням цих умов.

4. Підрядник отримує обладнання відповідно до затвердженої проектною документації

5. Перед початком монтажних робіт з встановлення систем комерційного обліку необхідно отримати дозвіл на розпломбування точки комерційного обліку. Ця процедура є обов'язковою для забезпечення контролю за процесом монтажу та виключення можливих маніпуляцій з лічильниками.

6. Після монтажу обладнання виконуються пуско-налагоджувальні роботи, включаючи перевірку функціональності всіх елементів системи, налаштування параметрів роботи та забезпечення безперебійної передачі даних.

7. Після успішного завершення пуско-налагоджувальних робіт складається акт введення системи АСКОЕ в експлуатацію. Цей документ фіксує факт готовності системи до експлуатації та підписується усіма зацікавленими сторонами для уникнення будь-яких подальших спорів щодо якості виконаних робіт та готовності системи до експлуатації.

8. Процедура введення системи АСКОЕ в експлуатацію передбачає обов'язкове проходження державної метрологічної атестації. Для цього замовник подає заявку в акредитовану метрологічну службу. Після проведення комплексу вимірювань та перевірок, за умови відповідності системи вимогам нормативних документів, видається свідоцтво про державну метрологічну атестацію. На підставі цього документа складається акт введення системи в експлуатацію.

9. Після успішного проходження всіх етапів перевірки, система АСКОЕ вводиться в експлуатацію. Акт приймання в експлуатацію є підставою для використання системи в комерційних розрахунках.

1.9 Структура інформаційно-вимірювальної системи

Система обліку базується на трирівневому принципі, візуальне представлення якого наведено на рисунку 1.3

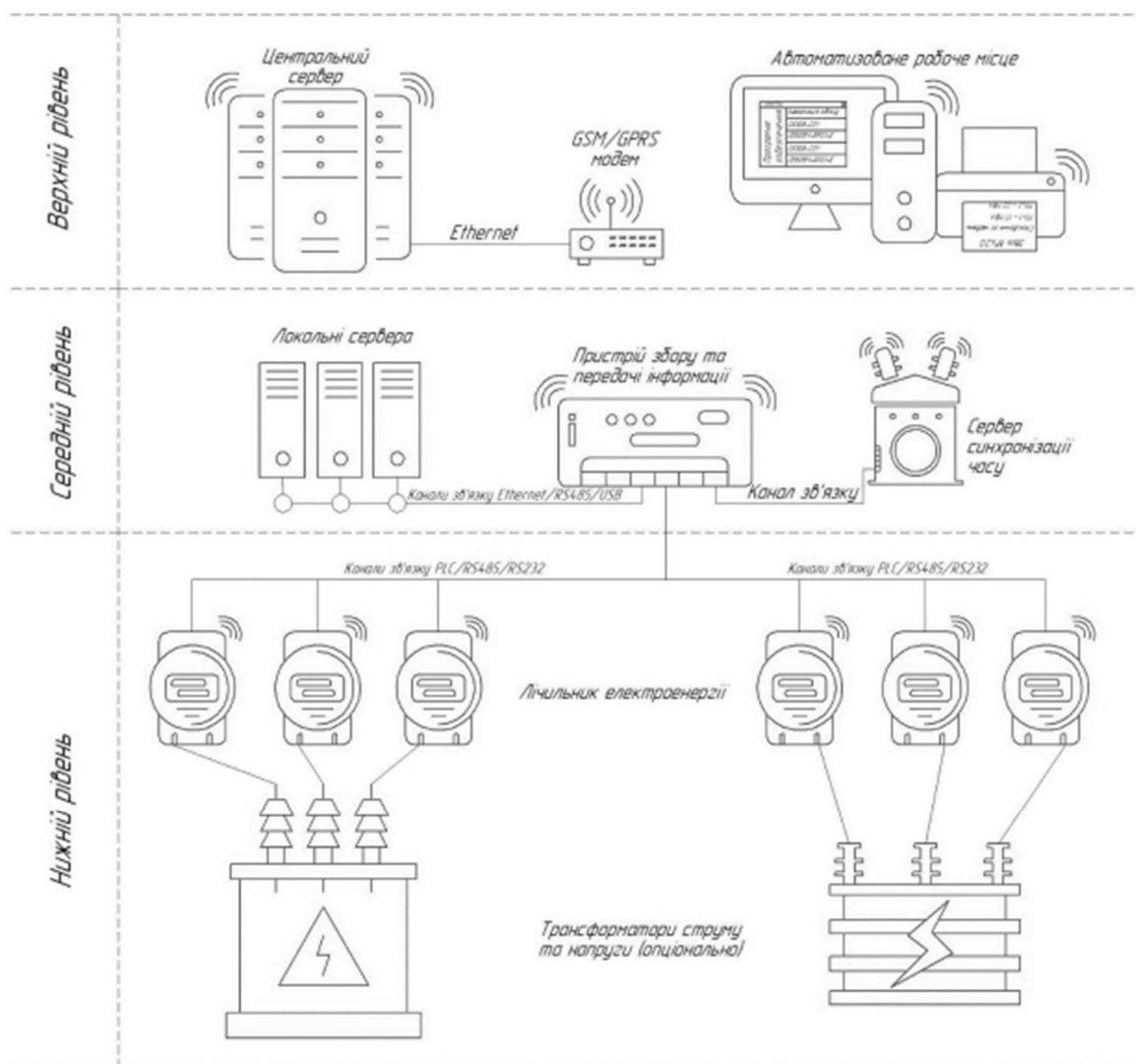


Рисунок 1.3 Типовий розподіл систем автоматизованого обліку електроенергії
Нижній рівень блок складається з:

- трансформаторів струму різних класів точності (0.1, 0.2, 0.2S, 0.5, 0.5S) ;
- трансформаторів напруги різних класів точності (0.1, 0.2, 0.5);
- вторинні кола трансформаторів струму та напруги;

- сучасні прилади обліку електричної енергії, що підтримують стандарти зв'язку RS-485 та RS-232, для інтеграції в системи автоматизованого контролю та обліку (АСКОЕ);

- сучасні лічильники електроенергії, які підтримують технології PLC та радіо зв'язку, для дистанційного збору даних та управління процесами облік.

Середній рівень інформаційно-вимірювальної системи, представлений ІОКЕ, є проміжною ланкою між первинними вимірювальними приладами та системою управління

Середній рівень блок складається з:

- ПЗПД – це пристрої, спеціально розроблені для збирання інформації з різних джерел та її подальшої передачі до централізованої системи обробки даних;
- Пристрій перетворення цифрових сигналів: Такий опис підкреслює основну функцію пристрою – змінювати цифрові сигнали з одного формату в інший.;
- інтерфейси для підключення пристроїв;
- PLC-модем;
- модеми GSM GPRS;
- блоки живлення.

Для передачі даних від приладів обліку до ПЗПД використовуються наступні цифрові канали:

- провідні інтерфейси RS-485, RS-232, CAN;
- технологія Power Line Communication (PLC) для мереж низької напруги;

інформаційно-обчислювальний комплекс включає:

- встановлене програмне забезпечення верхнього рівня, сервер з базою даних;
- модеми;

Верхній рівень блок складається з:

- Додаткове обладнання для обчислювальних систем

Зв'язок між ІОКЕ та системою ІБК здійснюється за допомогою таких каналів:

- Ethernet як мережевий протокол;
- цифровий локальний інтерфейс;
- канали зв'язку GSM/GPRS;

- супутниковий зв'язок;
- виділений провідний канал.

1.10 Види АСКОВЕ

1.10.1 Провідні АСКОВЕ

Застарілі провідні системи обліку електроенергії все ще використовуються в деяких сферах, але їхня доля на ринку неухильно зменшується з появою нових технологій. Принцип роботи систем PLC полягає у використанні силових ліній електропостачання не тільки для передачі електроенергії, але й для передачі даних, пов'язаних з обліком споживання. Лічильники, підключені до електричної мережі 0,4 кВ, передають дані про споживання електроенергії через спеціальні пристрої (концентратори) до диспетчерського пункту за допомогою мобільного зв'язку.

Трансформаторні підстанції обладнані концентраторами, які слугують для збору даних з лічильників електроенергії. Для підключення лічильників до концентраторів використовується стандартний інтерфейс RS-485, що забезпечує швидкий і простий доступ до інформації про споживання електроенергії.

Технологія PLC представлена двома основними типами: PLC-I і PLC-II. Кожен тип має свої особливості, які можуть відрізнятися в залежності від виробника обладнання. PLC-I оптимально підходить для обліку електроенергії в багатоквартирних будинках. PLC-I та PLC-II - це технології збору даних про споживання електроенергії, які працюють в різних частотних діапазонах і мають різні технічні характеристики. PLC-I, працюючи на частотах 20-95 кГц, дозволяє підключити до 2048 приладів обліку на відстані до 1,2 км. PLC-II, зі своєю робочою частотою 62,5-82,5 кГц, забезпечує підключення до 3072 приладів обліку та має більш розвинену мережеву структуру з 15 рівнями ретрансляції.

Крім того, PLC-II дозволяє здійснювати моніторинг якості електроенергії. Обидві системи дозволяють періодично збирати дані для подальшого аналізу.

PLC-II дозволяє створювати мережі великої протяжності (до 2,5 км) без додаткового обладнання.

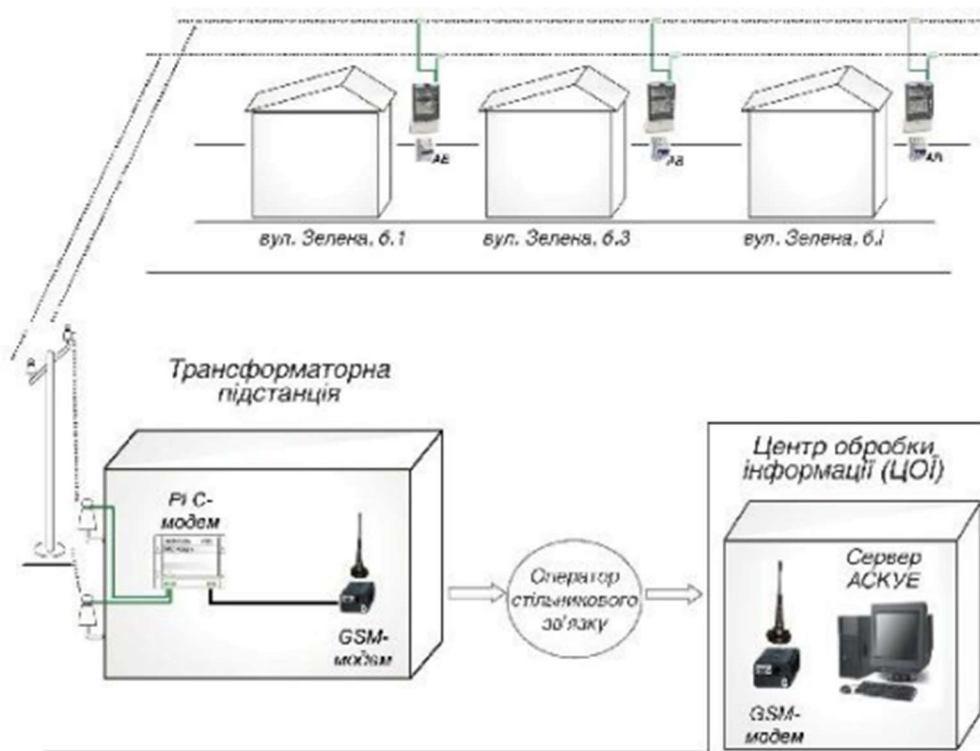


Рисунок 1.4 – АСКОЕ з передачею даних через силову мережу 0,4 кВ.

Переваги: впровадження системи автоматизованого обліку електроенергії з використанням технології PLC дозволяє значно знизити витрати на інфраструктуру, оскільки для передачі даних використовується існуюча електрична мережа. Це спрощує процес інсталяції та введення системи в експлуатацію.

Недоліки: будь-які споживачі електричної енергії з реактивною складовою навантаження можуть створювати перешкоди для передачі даних по силовій мережі. Нестабільність параметрів мережі, зумовлена зміною навантаження, може призводити до погіршення якості передачі даних та, як наслідок, до втрати даних. Тому дану технологію слід застосовувати в системах, де вимоги до своєчасності отримання даних не є критичними. Технологія Power Line

Communication (PLC) базується на використанні електричної мережі як середовища передачі даних.

Однак, застосування цієї технології може призвести до появи електромагнітних випромінювань, які можуть створювати значні перешкоди для роботи радіоаматорської апаратури, особливо в короткохвильовому діапазоні. Крім того, дальність передачі даних за допомогою технології PLC залежить від багатьох факторів, таких як стан електричної мережі, наявність завад та ін., і, як правило, не перевищує 500 метрів.

RS-485, M-BUS, RS-232: використання низьковольтних проводів для передачі даних дозволяє організувати збір інформації про споживання електроенергії від лічильників та передачу її до централізованої системи обробки даних. Для реалізації такого рішення застосовуються спеціальні прилади, що забезпечують перетворення аналогових сигналів лічильників у цифрові дані та їх передачу по електричній мережі.

Переваги: Застосування даної технології дозволяє побудувати ефективну систему автоматизації, яка забезпечує збір даних з великої кількості пристроїв, розташованих на різних рівнях ієрархії, і передачу їх до централізованої системи управління. Використання обмеженої кількості комунікаційних ліній спрощує монтаж та обслуговування системи.

Недоліки: потреба в модернізації електромережі шляхом прокладання додаткових низьковольтних ліній.

1.10.2 Бездротові АСКОВЕ

Існує багато різних способів бездротового збору даних про споживання електроенергії. Розглянемо їх.

Бездротові технології дозволяють створювати складні мережі, де дані можуть передаватися через кілька пристроїв. Такі мережі здатні самостійно

відновлюватися після збоїв. Постійно зростаючі потреби у передачі даних призвели до появи великої кількості бездротових стандартів, таких як GSM, 3G, LTE для мобільного зв'язку, та Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee для локальних мереж

АСКОЕ на базі GSM

Застосування GSM-модемів у системах бездротового обліку дозволяє передавати дані про споживання енергії через існуючу інфраструктуру стільникового зв'язку. При цьому один модем може бути підключений до одного або декількох лічильників, що забезпечує гнукість та масштабованість системи. Технології стільникового зв'язку 3G та 4G (GSM) використовують ліцензовані частотні діапазони 824-894 МГц і 1900 МГц для передачі даних зі швидкістю від 60 кбіт/с до 300 Мбіт/с. Покриття мережі формується за допомогою базових станцій, розташованих таким чином, щоб забезпечити безперервний обмін даними між мобільними пристроями.

Завдяки цьому, ми отримуємо прямий канал передачі даних між двома точками. Така технологія дозволяє охоплювати великі території без необхідності створення складної інфраструктури Рисунок 1.5 показує один із способів, як використовувати стільникові мережі для обліку електроенергії. Однією з головних переваг даної технології є можливість використовувати вже наявну мережу мобільного зв'язку. Це значно спрощує процес впровадження та знижує витрати.

Крім того, завдяки постійному зростанню швидкостей мобільного інтернету, ефективність цієї технології з часом лише збільшується. Комунікації за допомогою стільникового зв'язку мають свої недоліки: нестабільний час встановлення з'єднання, залежність якості зв'язку від навантаження мережі та економічна недоцільність для організації великої кількості каналів на невеликій території.



Рисунок 1.5 - Використання GSM-модему в системі автоматизованого обліку електроенергії

Для збору даних використовується різноманітне програмне забезпечення, а стабільність передачі даних забезпечується автоматичним перезавантаженням модему. Для коректної роботи такої системи необхідне стабільне покриття мобільним зв'язком та виділення статичних IP-адрес.

Металеві конструкції та обмежений простір створюють перешкоди для проходження радіосигналу, що викликає нестабільність у передачі даних. GPRS, як пакетна технологія, що базується на GSM, забезпечує більш ефективне використання радіочастотного спектра та, як наслідок, вищу швидкість передачі даних.

Переваги: вже створена розгалужена інфраструктура мобільного зв'язку, що забезпечує стабільний сигнал на великій території.

Недоліки: користувачі мобільного зв'язку сплачують абонентську плату за послуги передачі даних, за винятком певних тарифних планів та закритих груп. Якість мобільного зв'язку всередині приміщень часто є незадовільною через низький рівень сигналу GSM, що вимагає додаткових інвестицій в обладнання для посилення сигналу

RADIO 433, 866 МГц: Бездротова передача даних за допомогою радіосигналів у вільному частотному діапазоні 433 або 866 МГц. Система забезпечує бездротову передачу даних про споживання електроенергії від лічильників до мережеских пристроїв у випадках, коли прокладка кабельних ліній є неефективною або технічно складною.

Перевагами такого типу зв'язку є відсутність будь-яких фінансових витрат на передачу даних, а також спрощена процедура введення в експлуатацію, оскільки не вимагається отримання додаткових дозволів. Крім того, така система забезпечує значний радіус дії, що дозволяє охопити великі території.

Переваги: передача даних від лічильників до системи збору даних здійснюється по радіоканалу, що дозволяє знизити витрати на встановлення та експлуатацію системи завдяки відсутності необхідності в прокладанні кабелів.

Недоліки: Для забезпечення ефективної роботи систем з радіомодемами необхідна інфраструктура, що включає прокладання кабельних ліній між приладами збору даних та радіоретрансляторами. Радіоретранслятори встановлюються в ключових точках будівлі, як правило, на одному рівні з приладами збору даних, і підключаються до них за допомогою кабелів, що прокладаються уздовж існуючих комунікацій.

ETHERNET, INTERNET: переміщення інформації в електронному вигляді по мережеских каналах. Ця технологія дозволяє передавати дані про споживання енергії як у напрямку від блоку управління до електропостачальної компанії для звітності та аналізу, так і у зворотному напрямку – від лічильників до блоку управління для моніторингу та керування споживанням енергії.

Цей метод доцільно використовувати для організації мереж з великою пропускнуою здатністю, що забезпечують передачу даних на великі відстані, а також для автоматизації процесів на віддалених об'єктах. Обладнання: комутатори ETHERNET, модеми тощо.

Переваги: транспортування великих файлів по мережі зі швидкістю, що обмежується лише можливостями мережі.

Недоліки: Для інтеграції промислового обладнання з послідовними інтерфейсами в інформаційну систему необхідне встановлення інтерфейсних перетворювачів та прокладка додаткових комунікаційних ліній. Реалізація складних систем вимагає залучення висококваліфікованих фахівців.

З метою порівняльного аналізу, розглянемо найпоширеніші системи передачі даних та сформуємо таблицю їхніх технічних характеристик – табл. 1.1.

Тип системи	Дальність роботи, м	Шлях передачі даних	Основні переваги	Основні недоліки
PLC	500-1000	Існуючі лінії електропередач	Простота монтажу, невисока вартість	Перебої в роботі через частотні перешкоди
RS-485	Необмежена	Окрема низьковольтна лінія	Якість зв'язку, надійність роботи	Висока вартість за рахунок необхідності прокладання додаткових мереж зв'язку
GSM, GPRS	Необмежена	Мобільні мережі	Простота монтажу	Вартість зв'язку, відсутність мережевого покриття в деяких районах
RADIO 433, 866 МГц	50-100	Радіоканал	Не вимагає прокладки окремих ліній	Дороговизна обладнання, радіоперешкоди
INTERNET	Необмежена	Інтернет зв'язок	Не потребує додаткового обладнання	Залежність від інтернет зв'язку на кожному об'єкті

Таблиця 1.1 – Порівняльне дослідження різних типів АСКОВЕ

1.11 Характеристики цифрових приладів, які входять до складу АСКОЕ

1.11.1 Багатофункціональні лічильники електроенергії

Багатофункціональний лічильник — це високотехнологічний прилад, призначений для комплексного обліку електроенергії. Він оснащений функцією дистанційного зчитування та передачі даних про пряму і зворотну потужність, частоту, напругу та струм, коефіцієнт потужності а також має можливість дистанційного управління.



Рисунок 1.6 – Багатофункціональний лічильник електричної

Перші індукційні лічильники складались з кількох основних елементів: електромагнітів, постійного магніту, алюмінієвого диска та механізму для обліку. Одну з обмоток електромагніта підключали до мережевої напруги, що означало, що вона працювала паралельно з електроприймачем (обмотка напруги). Інша обмотка, в свою чергу, з'єднувалася послідовно з електроприймачем і пропускала через себе загальний струм навантаження (струмова обмотка).

Облік електроенергії можна поділити на два основних види: комерційний облік — це точний вимір спожитої електроенергії для визначення вартості та здійснення фінансових розрахунків між постачальником та споживачем та

технічний облік – це інструмент для аналізу та оптимізації енергоспоживання, який дозволяє виявити неефективність та розробити заходи щодо енергозбереження.

Для здійснення розрахункового обліку використовуються пристрої комерційного обліку (ПКО), в той час як для контрольних цілей застосовують прилади технічного обліку (ПТО). Вони відрізняються за функціоналом, класом точності та іншими параметрами. Обов'язковою умовою використання цих приладів є їх державна реєстрація.

Система обліку електроенергії повинна бути побудована на основі електронних лічильників з цифровим інтерфейсом, які забезпечують автоматизацію процесів збору, обробки та зберігання даних. База даних обліку є основою для всіх подальших розрахунків.

Система обліку електроенергії повинна бути побудована на принципі інтеграції, а не набору окремих лічильників. Це дозволить забезпечити більш точний і повний контроль за споживанням електроенергії. Первинні та вторинні засоби обліку електроенергії мають бути побудовані на основі сучасних інформаційних технологій, забезпечуючи автоматизацію всіх процесів від збору даних до їх аналізу та зберігання. Це дозволяє отримати детальну інформацію про споживання електроенергії в кожній точці обліку, а також провести комплексний аналіз енергоспоживання.

Для точного обліку електроенергії необхідно використовувати електронні лічильники з цифровим інтерфейсом. Вони збирають та зберігають інформацію про споживання електроенергії, яку потім можна використовувати для проведення різних аналізів та розрахунків.

Сучасні лічильники характеризуються:

- високою точністю вимірювань,
- широким спектром можливостей,
- довговічністю,
- можливістю інтеграції до автоматизованих систем обліку енергоресурсів.

1.11.2 Прилади збору та передачі даних

В автоматизованих системах комерційного обліку електроенергії ПЗПД виконують функцію збору даних від групи лічильників, обробки їх та передачі на центральний сервер для подальшого аналізу та формування звітів.



Рисунок 1.7 – Прилад збору і передачі данни

Основні функції ПЗПД включають:

1. Регулярне опитування всіх лічильників у відповідній групі, здійснення тестування, акумуляування інформації та фіксація відповідей.
2. Архівування інформації.
3. Запис історії подій.
4. Двостороння передача інформації між інтерфейсом та пультом.
5. Відправка команд на виконання підлеглим лічильникам.
6. Виконання заданих дій відповідно до інструкцій від диспетчерського пункту.

Пристрій обліку електричної енергії обладнаний автономним джерелом живлення. Дані, які надходять від лічильників, систематизовані у вигляді табличних структур. Ці таблиці поділяються на два типи: статичні, що містять незмінні параметри, та динамічні, де відображаються дані, які змінюються в процесі споживання електроенергії. До таких таблиць належать, зокрема, ті, що визначають умови переходу на різні тарифи, встановлюють граничні значення споживаної потужності та містять налаштування системи. Динамічні таблиці, зі свого боку, відображають поточний стан споживання електроенергії. Це

можуть бути, наприклад, таблиці, що показують обсяги споживання за різними тарифами, а також дані про якість електроенергії у реальному часі.

1.11.3 GSM/GPRS-модем

Модем є ключовим компонентом будь-якої сучасної системи автоматизованого комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ). Саме цей пристрій забезпечує передачу даних про споживання електроенергії від лічильника до центрального сервера системи.



Рисунок 1.8 – GSM/GPRS-модем

Функції модему АСКОЕ:

1. З'єднання: Модем створює комунікаційний канал між лічильником, який зазвичай має послідовний інтерфейс (RS-485), та мережею передачі даних (GSM, GPRS, Ethernet).
2. Перетворення даних: Він конвертує цифрові сигнали від лічильника в формат, зрозумілий мережі, та навпаки.
3. Передача даних: Модем передає зібрані дані про споживання електроенергії на центральний сервер системи для подальшої обробки та аналізу.
4. Прийом команд: Модем може приймати команди від центрального сервера для виконання певних дій, наприклад, зчитування показів лічильника в певний момент часу.

Програмне забезпечення: Це набір програм, які забезпечують функціонування всієї системи. Воно використовується для:

- Збору та обробки даних.
- Візуалізації даних.
- Формування звітів.
- Аналізу даних.
- Архівування даних.

Інтерфейс користувача: Це може бути веб-інтерфейс, мобільний додаток або спеціальна програма, яка дозволяє користувачеві взаємодіяти з системою.

Вибір конкретних приладів для АСКОЕ залежить від таких факторів, як:

- розмір об'єкта
- складність енергосистеми
- вимоги до точності вимірювань
- бюджет проекту

2. ЗАСТОСУВАННЯ SMART GRID ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Задачі керування та оптимізації електромереж з великою часткою відновлюваних джерел енергії

Зростання частки відновлюваних джерел енергії стимулює розвиток інтелектуальних енергомереж як необхідної умови для стабільної роботи енергосистеми. Для ефективного використання відновлюваних джерел енергії необхідні технології, що забезпечують динамічне управління енергосистемою в режимі реального часу.

Електричні мережі за рахунок локальних систем керування, самоналагодження та самодіагностування можуть здійснювати регулювання постачанням електроенергії в залежності від режиму її споживання, але за умови достатнього інформаційного забезпечення. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології дозволяють створити інтелектуальні мережі, які об'єднують централізовані та децентралізовані джерела енергії, а також активних споживачів.

Оптимізація роботи електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії є комплексною задачею, яка враховує різноманітні фактори, включаючи рівень розподіленої генерації, тип обладнання та структуру мережі.

Слід враховувати, що зміни в економічному середовищі, зокрема в моделі оптового ринку, впливають на функціонування електроенергетики. При масштабному впровадженні відновлюваних джерел енергії, які підключені до мережі за двосторонніми договорами, стає критично важливим забезпечити синхронну роботу всіх елементів енергосистеми. В такій ситуації доцільно розглядати електричну мережу як локальну енергосистему, де, крім типових задач, виникають специфічні питання стабільності роботи відновлюваних джерел енергії та загалом всієї системи.

Перелік завдань, що постають перед ВДЕ в локальних енергосистемах, є досить широким. Однак, з огляду на економічну доцільність "зелених тарифів",

найбільш актуальним є завдання оптимізації режимів роботи ВДЕ для максимального прибутку. Це передбачає складання детальних планів та оперативне управління режимами роботи з урахуванням технічних можливостей кожного ВДЕ та багаторівневої тарифікації на енергоринку.

В такому випадку задача оптимізації добових режимів (на інтервалі часу $[t_0; t_k]$) керованих джерел $P_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ (на-приклад МГЕС) з врахуванням режимів умовнокерованих джерел з метою оптимізації прибутків за рахунок використання багаторівневої системи тарифів $\varphi(t)$ та технічних обмежень з боку окремих ВДЕ формулюється як:

$$\int_{t_0}^{t_k} \varphi(t) \sum_{i=1}^n P_i(t) dt \rightarrow \max$$

У випадку дефіциту електроенергії в загальній енергосистемі, актуалізується задача ефективного використання потенціалу відновлюваних джерел енергії для забезпечення автономності локальних енергосистем. Використовуючи можливості смарт-мереж, ми регулюємо споживання електроенергії в локальній системі з метою зменшення навантаження на загальну мережу.

Мета оптимізації: мінімізувати залежність локальної енергосистеми від зовнішніх джерел енергії. $P_{\text{нав}}(t)$ від централізованого енергопостачання, тобто мінімізації навантаження локальної системи на основний центр живлення $P_{\text{цж}}(t)$:

$$\int_{t_0}^{t_k} P_{\text{цж}}(t) dt \rightarrow \min$$

при дотриманні балансових умов:

$$P_{\text{цж}}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) - P_{\text{нав}}(t) = 0$$

Задача оптимізації передбачає пошук такого режиму роботи відновлюваних джерел, який би мінімізував відхилення від заданого графіка виробництва за умови дотримання технічних обмежень.

Система забезпечує стабільну роботу локальної енергосистеми в широкому діапазоні навантажень. Використання прогнозів метеорологічних умов дозволяє підвищити точність прогнозування виробництва електроенергії відновлюваними джерелами. Задача оптимізації формулюється наступним чином:

$$\int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{2} (P_{BDE}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t))^2 dt \rightarrow \min$$

Очевидно, що досягнення оптимальних результатів в управлінні локальною енергосистемою можливо лише за умови використання сучасних систем автоматизації, які здатні адаптуватися до змінних умов роботи.

2.2 Система автоматичного управління відновлюваними джерелами енергії в електромережах

Однією з ключових переваг розумних мереж є можливість для енергопостачальників дистанційно керувати споживанням електроенергії, підлаштовуючи його під оптимальні режими роботи енергосистеми.

Завдяки гнучким комунікаціям, в майбутньому стане можливим динамічно змінювати режими роботи електроприладів споживачів для збалансування споживання з нестабільним виробництвом електроенергії з відновлюваних джерел.

Очевидні переваги децентралізованого керування відновлюваними джерелами енергії в локальних електричних системах роблять актуальним детальне дослідження цього підходу, зокрема, розробку математичних моделей та алгоритмів оптимізації з урахуванням особливостей розподілених мереж. Оптимізація процесів генерації, розподілу та споживання електроенергії з урахуванням мінливості відновлюваних джерел енергії вимагає не лише

розвинених комунікаційних систем, але й розробки ефективних алгоритмів керування, які враховуватимуть особливості різних типів джерел енергії та їхню динаміку.

Перехід до децентралізованого керування енергетичними системами вимагає розробки систем управління, які будуть стійкими, адаптивними до змін та здатними забезпечувати оптимальну роботу як в нормальних, так і в аварійних ситуаціях.

При створенні автоматизованих систем управління ВДЕ враховується необхідність забезпечення балансу між індивідуальними економічними інтересами власників джерел енергії та загальними інтересами енергосистеми. Оптимізація роботи ВДЕ здійснюється з урахуванням таких факторів, як мінливість природних умов, технічні характеристики обладнання, вимоги до якості електроенергії та надійності електропостачання.

Локальні електричні системи можуть бути побудовані на основі комбінації різних видів відновлюваних джерел енергії, таких як малі гідроелектростанції, сонячні та вітрові електростанції. При цьому малі ГЕС, завдяки можливості регулювання виробництва електроенергії, можуть забезпечувати балансування навантаження в системі та компенсувати коливання виробництва електроенергії від сонячних та вітрових електростанцій.

Для забезпечення стабільної роботи локальних електричних систем з високою часткою відновлюваних джерел енергії необхідно розробляти ефективні механізми балансування виробництва та споживання електроенергії. Це пов'язано з тим, що виробництво електроенергії від сонячних та вітрових електростанцій залежить від погодних умов і може значно коливатися протягом доби. Малі гідроелектростанції можуть відігравати певну роль у цьому процесі, але для повного вирішення проблеми необхідні додаткові заходи.

Незважаючи на те, що централізоване управління в реальному часі є ідеальним сценарієм для оптимізації роботи відновлюваних джерел енергії в розподілених мережах, практична реалізація такого підходу ускладнена через географічну розкиданість об'єктів та потенційні проблеми зі зв'язком.

Оптимальною структурою системи автоматичного керування (САК) для відновлюваних джерел енергії може бути централізована система оперативного керування, доповнена локальними системами автоматичного керування (САК) для реалізації функцій реального часу.

Такий підхід дозволить поєднати переваги централізованого планування та гнучкості локального управління. Приклад структури такої системи автоматичного керування (САК) для розподілених джерел енергії наведено на рисунку 2.1.

Створення системи автоматизації для відновлюваних джерел енергії вимагає комплексного підходу, який включає детальний аналіз технічних, економічних та фінансових аспектів. Початкова концепція, розроблена для малих ГЕС, була успішно адаптована для управління різними типами ВДЕ. Головними принципами тут є:

- комплексне техніко-економічне обґрунтування, що забезпечує послідовну реалізацію функцій системи автоматичного керування, адаптованої до мінливих умов роботи відновлюваних джерел енергії на енергетичному ринку;
- Забезпечення повного функціонування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в автономному режимі за відсутності зв'язку з централізованою системою управління, що дозволяє підтримувати стабільну роботу електромережі та виконувати всі необхідні функції, такі як виробництво електроенергії, регулювання параметрів мережі та стоків річок;
- Створення багаторівневої системи управління з трьома рівнями підпорядкування.:
 - перший рівень – центр управління системою;
 - другий рівень – проміжний рівень управління, представлений опорними ВДЕ, які виконують функції передачі команд та налаштування параметрів розподілених джерел енергії.;
 - третій рівень – розосереджені джерела енергії з функцією адаптації до змінних умов, які виконують команди вищого рівня, враховуючи місцеві особливості.

Завдяки такій структурі вдається оптимізувати витрати на розробку та впровадження АСК.

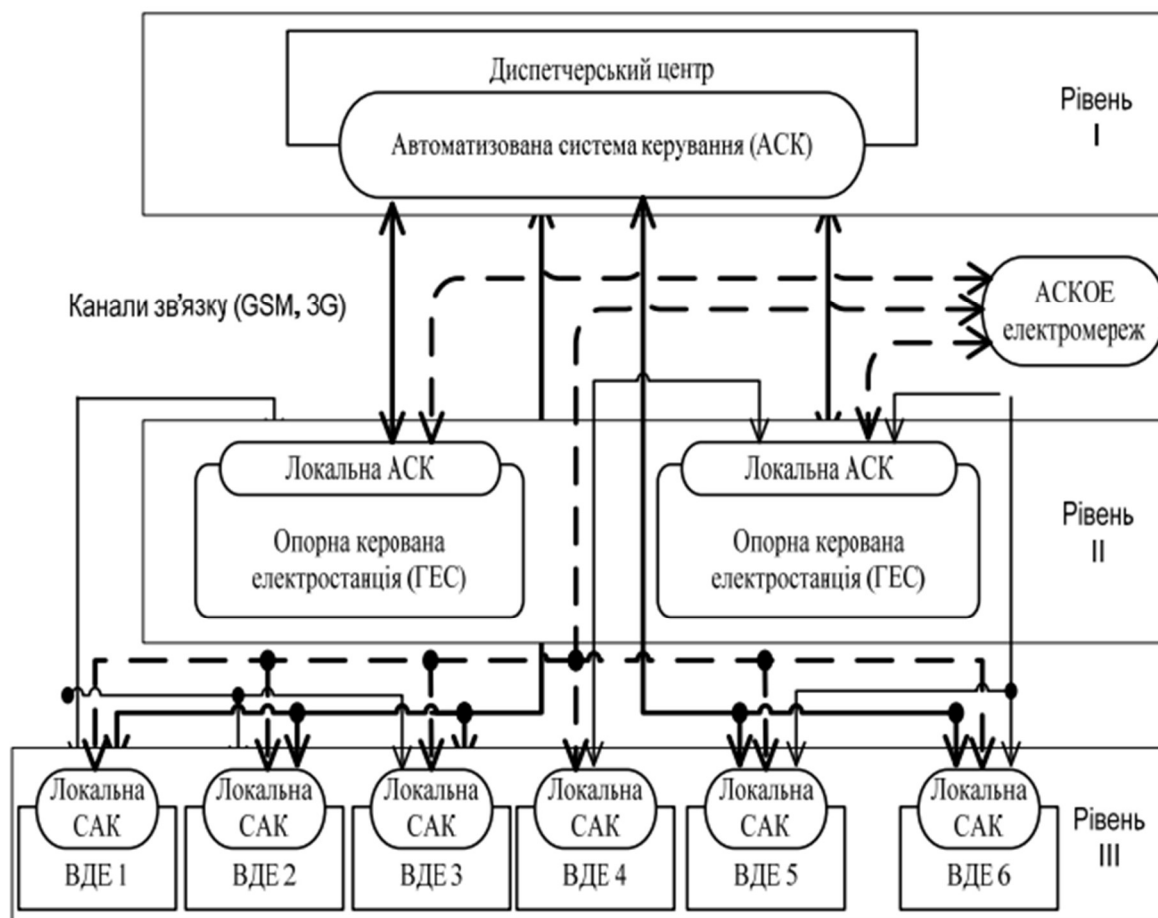


Рисунок 2.1 – Структура автоматизованої системи керування для розподілених джерел енергії

Першим кроком стало створення системи автоматичного збору та обробки даних про вироблення електроенергії, що дозволило забезпечити точний облік та формування необхідної звітності. Було розроблено систему, яка забезпечує точний облік виробництва електроенергії та автоматичне формування необхідної звітності. Автоматизація процесів забезпечила ефективне управління малими ГЕС та дозволила скоротити витрати на обслуговування.

Щоб забезпечити оптимальне функціонування відновлюваних джерел енергії на основі отриманих даних, ми розширили можливості локальних систем автоматичного управління, додавши нові функції обробки інформації.

Для забезпечення автоматичного управління ВДЕ було створено інтегровану систему, яка включає в себе датчики для збору даних про механічні та електричні параметри, виконавчі механізми та програмні логічні контролери (PLC).

Всі компоненти об'єднані в єдину інформаційну мережу, що дозволяє здійснювати оперативне управління та обмін даними між різними підсистемами. З метою ефективного впровадження системи автоматичного керування було проведено відбір малих ГЕС, які за своїми технічними характеристиками, географічним розташуванням та рівнем підготовки персоналу відповідали встановленим критеріям. Вибір опорних електростанцій дозволив зосередити зусилля на найбільш перспективних об'єктах та забезпечити швидке масштабування системи в подальшому.

Для створення інтегрованої системи управління на обраних електростанціях було встановлено додаткове обладнання та програмне забезпечення. PLC-контролери цих станцій об'єднані в локальну мережу, що дозволяє обмінюватися даними та забезпечує централізований моніторинг та управління усією системою.

Аналіз даних допомагає нам більш точно прогнозувати зміни в роботі відновлюваних джерел енергії та відповідно коригувати режими їх роботи для досягнення максимальної ефективності. Для успішної реалізації автоматизованої системи керування відновлюваними джерелами енергії в локальних енергетичних системах недостатньо лише обладнання. Крім апаратного забезпечення, необхідне розроблення відповідного математичного та програмного забезпечення.

Враховуючи високий рівень відповідальності, пов'язаний з управлінням таким об'єктом, цей етап потребує значних ресурсів як фінансових, так і часових.

Впровадження автоматизованої системи управління відновлюваними джерелами енергії дозволить не лише покращити їх роботу, а й забезпечить значну економічну ефективність. За оцінками, всі витрати на створення такої системи окупляться протягом 3-4 років завдяки підвищенню ефективності використання енергоресурсів та зменшенню експлуатаційних витрат.

Таким чином, визначені оптимальні режими роботи відновлюваних джерел енергії можуть бути використані для складання розкладів їхньої роботи та розробки алгоритмів управління, що забезпечить ефективне використання енергоресурсів.

Виконання зазначених умов дозволяє розробити оптимальні алгоритми управління відновлюваними джерелами енергії, що забезпечують максимальну ефективність використання первинних ресурсів та мінімізують втрати енергії. Це досягається шляхом визначення оптимальної послідовності керувальних впливів для кожного окремого джерела енергії з урахуванням його технічних характеристик та поточних умов роботи енергосистеми.

Було проведено аналіз різних сценаріїв використання відновлюваних джерел енергії з метою визначення оптимальних режимів їх роботи в електричних мережах.

Завдяки впровадженню технологій розумних мереж (Smart Grid) стає можливим комплексне вирішення задач оптимізації режимів роботи відновлюваних джерел енергії та активних споживачів в електричних мережах.

Запропонована адаптивна система автоматичного керування в реальному часі, яка використовує гнучкі комунікаційні мережі, дозволяє ефективно керувати технологічними процесами генерації електроенергії від відновлюваних джерел, навіть за умов нестабільної роботи мережі та неточної інформації про стан обладнання.

Це досягається за рахунок використання сучасних алгоритмів керування, які дозволяють адаптуватися до мінливих умов зовнішнього середовища та

забезпечувати оптимальну взаємодію між відновлюваними джерелами енергії та електричною мережею.

3. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В ЕНЕРГЕТИЦІ

3.1 Штучний інтелект як рушійна сила трансформації енергетичного сектору

Швидкий розвиток нових енергетичних технологій вимагає постійного перегляду стратегічних планів у сфері енергетики. Впровадження інноваційних технологій, таких як автоматизація, штучний інтелект та розумні мережі (Smart-Grids), дозволить створити більш інтелектуальні та ефективні енергетичні системи.

Штучний інтелект не лише розширює горизонти можливостей в організації енергопостачання, а й стає потужним інструментом для досягнення сталого розвитку та підвищення безпеки енергосистем. З одного боку, ШІ сприяє децентралізації енергосистеми та робить її більш гнучкою, але з іншого – це ставить під питання ефективність традиційних централізованих моделей енергопостачання. Такий стан справ ставить перед нами необхідність розробити нову енергетичну стратегію, яка враховуватиме нові реалії.

Масштабні руйнування, спричинені російською агресією, відкинули Україну на роки назад у процесі модернізації енергетичного сектору. Збройний конфлікт, на жаль, створив безпрецедентні виклики для енергетичного сектору України, але водночас відкрив нові можливості для його модернізації та розвитку.

3.2 Впровадження штучного інтелекту в енергетичний сектор

Специфіка енергетики, яка вимагає постійного моніторингу та аналізу великої кількості даних в реальному часі (прогнози погоди, споживання енергії, стан мереж тощо), створює сприятливі умови для впровадження штучного інтелекту. ШІ дозволяє оптимізувати процеси управління енергосистемою та підвищити її надійність.

Прогнозування погодних умов дозволяє передбачати зміни в попиті на електроенергію і відповідно оптимізувати виробництво. Застосування ШІ в

енергетиці дозволяє виявляти аномалії в режимах роботи енергосистеми в режимі реального часу, такі як дисбаланси між виробництвом і споживанням.

Шляхом динамічної зміни режиму роботи генерації та навантаження, ШІ сприяє стабілізації енергосистеми та підвищенню її надійності. Штучний інтелект, завдяки великому обсягу доступних даних, дозволяє точніше прогнозувати поведінку енергосистем.

Наприклад, оптимальний час для технічного обслуговування електромереж визначається на основі комплексного аналізу даних про експлуатацію обладнання, що мінімізує ризик аварій та зменшує простої.

Штучний інтелект робить споживання енергії більш інтелектуальним, дозволяючи прогнозувати ціни, керувати попитом за допомогою розумних приладів та оптимізувати витрати. Завдяки штучному інтелекту, пристрої можуть працювати більш ефективно, змінюючи режими роботи залежно від вартості електроенергії. ШІ відкриває нові можливості в енергетиці, дозволяючи автоматизувати та оптимізувати численні процеси:

Управління мережею

Збільшення частки вітрової та сонячної енергії в енергобалансі супроводжується проблемою нестабільності їх виробництва. Це потребує розробки ефективних механізмів прогнозування та управління для забезпечення балансу між виробництвом та споживанням електроенергії. Точні прогнози, забезпечені ШІ, дозволяють операторам енергосистем оптимізувати роботу мережі та зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій. Це, в свою чергу, підвищує надійність енергопостачання та знижує потребу в резервних потужностях.

Штучний інтелект допомагає енергетичним компаніям приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації та модернізації енергообладнання, що дозволяє оптимізувати витрати та підвищити ефективність.

Інтелектуалізація мереж (Smart grids)

Інтеграція відновлюваних джерел енергії та акумуляторів в енергосистему стає більш ефективною завдяки ІІІ, який дозволяє збалансувати виробництво та споживання енергії.

Об'єднання системи управління мережею з різноманітними енергетичними технологіями, такими як датчики, системи зберігання енергії та платформи управління, відкриває нові перспективи для оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності енергосистем.

Розвиток інфраструктури розумних лічильників (Smartmeters) відіграє ключову роль у цифровізації енергетики, забезпечуючи точний облік споживання енергії та створюючи основу для нових сервісів. США продемонстрували вражаючі темпи впровадження розумних лічильників, досягнувши рівня проникнення близько 50% ще у 2016 році.

Інтелектуальні лічильники нового покоління з дисплеєм забезпечують споживачів актуальною інформацією про їхнє енергоспоживання в режимі реального часу. Це дозволяє їм свідомо керувати своїми витратами на електроенергію. Впровадження автоматизованих систем управління попитом створює виграшну ситуацію як для енергетичних компаній, так і для споживачів.

Компанії отримують можливість оптимізувати роботу енергосистеми, а споживачі – знизити свої витрати на електроенергію. Аналізуючи профілі споживання, енергетичні компанії можуть запропонувати своїм клієнтам персоналізовані рішення для зменшення енерговитрат, що є основою ефективного управління попитом.

Мікромережа (Microgrid)

Завдяки цифровим технологіям стає можливим створення автономних енергетичних систем, які не залежать від централізованого енергопостачання. Такі локальні мережі можуть повністю задовольняти енергетичні потреби

певної території. Штучний інтелект і машинне навчання відіграють ключову роль у керуванні мікромережами, оптимізуючи використання енергії та передбачаючи потреби як виробників, так і споживачів електроенергії.

Мікромережі є ідеальним рішенням для інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни, оскільки вони можуть легко адаптуватися до мінливості їхньої генерації. Штучний інтелект є ефективним інструментом для об'єднання різних децентралізованих джерел енергії, таких як електромобілі, теплові насоси та сонячні панелі, в єдину енергетичну систему.

Дослідження Navigant Research виявило понад 2258 мікромереж загальною потужністю 19,575 МВт, розподілених переважно по Північній Америці, Азії та Африці. Цей ринок демонструє значний потенціал зростання, і до 2025 року його потужність може збільшитися до 400 ГВт.

Виявлення крадіжок енергії

Проблема крадіжок електроенергії є досить гострою, завдаючи значних фінансових збитків енергетичному сектору. За оцінками, щорічні втрати від таких махінацій сягають до 100 мільярдів доларів по всьому світу. ШІ дозволяє енергетичним компаніям заощадити значні кошти завдяки своєчасному виявленню та усуненню проблем, пов'язаних з несанкціонованим споживанням електроенергії.

Акумуляування енергії

Забезпечення рівномірного балансу між виробництвом та споживанням електроенергії є складним завданням, яке вимагає застосування сучасних технологій та ефективних механізмів регулювання. Новітні акумуляторні технології відкривають нові можливості для оптимізації роботи енергосистем шляхом вирівнювання графіків виробництва та споживання електроенергії.

3.3 Штучний інтелект сприяє розвитку розумних мереж

Швидкий розвиток штучного інтелекту робить його незамінним інструментом для енергетичних компаній, які прагнуть підвищити ефективність своїх операцій, оптимізувати витрати та забезпечити стабільне енергопостачання. Цифрова трансформація, заснована на штучному інтелекті, дозволяє керувати все більш складними енергетичними системами, включаючи розумні мережі та відновлювані джерела енергії.

Штучний інтелект є незамінним інструментом для успішної трансформації енергетичного сектору. Завдяки ШІ стає можливим інтегрувати в енергосистеми новітні технології, такі як відновлювані джерела енергії та системи зберігання енергії, що сприяє підвищенню ефективності енергоспоживання та зменшенню викидів парникових газів.

Крім того, ШІ дозволяє оптимізувати роботу енергосистем, забезпечуючи стабільне постачання електроенергії навіть за умов зростаючого попиту та нестабільності відновлюваних джерел енергії. Зростання кількості розподілених джерел енергії та електрифікація різних сфер життя створюють дедалі складнішу енергетичну систему, яку важко управляти традиційними методами.

Штучний інтелект, зі своєю здатністю обробляти великі обсяги даних та приймати швидкі рішення, стає незамінним інструментом для оптимізації роботи такої системи. ШІ дозволяє ефективно інтегрувати нові елементи в енергосистему, забезпечуючи її стабільну роботу та підвищуючи її ефективність.

Завдяки ШІ можна оптимізувати виробництво та споживання енергії, збалансувати навантаження на мережу та підвищити надійність енергопостачання. Штучний інтелект відкриває нові можливості для підвищення ефективності та надійності енергетичних систем. Завдяки ШІ можна оптимізувати роботу енергетичних активів, покращити управління

енергосистемами в реальному часі, адаптуватися до змінних умов енергетичних ринків та забезпечити більш точне прогнозування попиту на електроенергію.

Це дозволяє не тільки знизити витрати на виробництво та доставку електроенергії, але й підвищити якість енергопостачання та сприяти розвитку відновлюваних джерел енергії.

Хоча ІІІ не є універсальним рішенням, він є потужним інструментом, який дозволяє впоратися з викликами, пов'язаними з управлінням все більш складними енергетичними системами. Зростаючий попит на чисту енергію та необхідність адаптації енергосистем до нових викликів вимагають значних інвестицій у модернізацію енергетичної інфраструктури.

Цифрові технології пропонують інноваційні та економічно ефективні рішення для цього завдання. Нові цифрові платформи та інструменти дозволяють оптимізувати процеси виробництва, передачі та споживання енергії, підвищити ефективність використання ресурсів та інтегрувати відновлювані джерела енергії в енергосистему.

Зростаюча кількість інвестицій у цифрові енергетичні стартапи свідчить про те, що інвестори розглядають цей сектор як один з найпривабливіших для вкладення капіталу. Це пов'язано з високими очікуваннями щодо розвитку відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності та створення розумних енергетичних мереж.

4. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕХОДУ ДО ЛОКАЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

4.1 Сучасні енергетичні мережі

Активне будівництво вітрових та сонячних електростанцій призводить до суттєвих змін у структурі енергосистем, що, в свою чергу, вимагає впровадження нових рішень для забезпечення їх надійної та ефективної роботи. Зростаючі вимоги до енергосистеми, пов'язані зі збільшенням кількості відновлюваних джерел енергії та необхідністю підвищення енергоефективності, стимулюють розвиток інтелектуальних систем управління, які дозволяють оптимізувати виробництво, передачу та споживання електроенергії.

4.2 Тенденції розвитку електричних мереж

Сучасні електричні системи стикаються з новими викликами, пов'язаними з:

- постійне зростання частки відновлювальної енергетики;
- активне будівництво нових ліній постійного струму;
- збільшення частки відновлюваних джерел енергії завдяки системам накопичення;
- впровадження технології активних споживачів;
- розосереджені електричні системи ставлять перед енергетикою нові виклики, пов'язані з забезпеченням надійності та стабільності роботи систем автоматики та релейного захисту;
- створення інтегрованих систем моніторингу, які дозволяють збирати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних про стан електромереж в реальному часі, що забезпечує підвищення ефективності управління енергосистемою.

4.3 Тенденції розвитку локальних джерел енергії в Україні

Україна має значний потенціал для розвитку локальних джерел енергії (ЛДЕ). Це пов'язано з низкою факторів:

- Географічне розташування: Україна має сприятливі природні умови для розвитку сонячної та вітрової енергетики.

- Енергетична незалежність: Розвиток ЛДЕ дозволить зменшити залежність від імпорту енергоносіїв і підвищити енергетичну безпеку країни.
- Підтримка з боку держави: Уряд України активно підтримує розвиток відновлюваної енергетики, запроваджуючи відповідні законодавчі акти та фінансові стимули.

Основні напрямки розвитку ЛДЕ в Україні

- Сонячна енергетика: Встановлення сонячних електростанцій на дахах будинків, промислових підприємств, а також будівництво великих сонячних парків.
- Вітрова енергія: Будівництво вітрових електростанцій, особливо в приморських та степових районах.
- Біоенергетика: Використання біомаси для виробництва тепла та електроенергії, зокрема, на основі сільськогосподарських відходів та біогазу.
- Геотермальна енергетика: Використання геотермальних вод для опалення та виробництва електроенергії, особливо в західних регіонах України.
- Мала гідроенергетика: Будівництво малих гідроелектростанцій на річках.

Переваги розвитку ЛДЕ в Україні

- Зменшення викидів парникових газів: Сприяє боротьбі зі зміною клімату.
- Створення нових робочих місць: Розвиток локальних виробництв та послуг.
- Збільшення енергоефективності: Стимулює раціональне використання енергії.
- Децентралізація енергосистеми: Зменшує залежність від централізованих енергосистем.
- Збільшення експорту електроенергії: Можливість експорту надлишкової електроенергії, виробленої з ЛДЕ.

Виклики та бар'єри

- Висока вартість інвестицій: Необхідні значні інвестиції для створення та розвитку інфраструктури ЛДЕ.
- Нестабільна державна політика: Зміни в законодавстві та тарифній політиці можуть негативно вплинути на інвестиції в сектор.

- Відсутність достатньої інфраструктури: Необхідність розвитку мереж для передачі електроенергії, виробленої з ЛДЕ.
- Конкуренція з традиційними джерелами енергії: Необхідність створення рівних умов для всіх видів енергетики.

Перспективи

Незважаючи на виклики, перспективи розвитку ЛДЕ в Україні є дуже позитивними. Зростання свідомості про необхідність переходу до більш чистої енергетики, підтримка з боку держави та технологічний прогрес створюють сприятливі умови для розвитку цього сектору.

5. ТЕХНІЧНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ЗАСОБИ ДЛЯ АНАЛІЗУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВДЕ

5.1 Оптимізація роботи енергосистем за допомогою Big Data і Smart Grid

Визначення Big Data, запропоноване Бойдом і Крауфорд у 2012 році, розглядає його як багатогранний феномен, що охоплює культуру, технології та науку, що вміщує в себе: 1) Технології Big Data: Застосування високопродуктивних обчислювальних систем та інноваційних алгоритмів для збору, обробки, аналізу та інтерпретації великих обсягів структурованих і неструктурованих даних. 2) Комплексний аналіз великих даних: Систематичний підхід до збору, обробки та інтерпретації великих обсягів даних з метою отримання цінної інформації. Великі дані характеризуються такими властивостями: інформаційний обсяг, висока швидкість обробки даних, можливість працювати з різними типами структури даних.

Технології Big Data фокусуються на розробці інструментів для управління і аналізу великих, різноманітних наборів даних. Створюються методики об'єднання даних з різних джерел, забезпечення їхньої однорідності та підготовки до аналізу.

Сучасна енергетика характеризується активною інтеграцією електроенергетичних мереж з цифровими технологіями, що дозволяє створювати більш ефективні, надійні та інтелектуальні енергосистеми. Енергетика переживає глибоку трансформацію, де традиційні електромережі зливаються з цифровими технологіями, створюючи інтелектуальні енергосистеми майбутнього. Цю концепцію назвали "Smart Grid" або "Інтелектуальна енергомережа". Smart Grid – це інноваційна концепція енергосистеми, яка передбачає повну інтеграцію всіх її елементів (генерації, передачі, розподілу, споживання) в єдину мережу, що керується автоматично в режимі реального часу. Ця система здатна до самовідновлення та ефективно використовує різні джерела енергії.

Загальна ідея концепції Smart Grid базується на таких положеннях:

- Концепція Smart Grid передбачає кардинальну модернізацію енергетичної системи, включаючи в себе перехід на нові джерела енергії, впровадження інтелектуальних лічильників, оптимізацію роботи енергомереж та створення інтегрованих систем управління енергоспоживанням;
- Концепція майбутньої енергетичної системи базується на ідеї створення інтегрованої платформи, що об'єднує фізичну інфраструктуру (електромережі) та цифрову інфраструктуру (інформаційні системи), що дозволяє ефективно керувати енергоресурсами, оптимізувати виробництво та споживання енергії, а також забезпечувати прозорість і доступність енергетичних ринків для всіх учасників;
- Функціонування енергетичної системи має бути побудоване на основі консенсусу щодо ключових принципів і напрямків розвитку, які були визначені спільною роботою всіх учасників ринку;
- Довгострокове перетворення енергетики передбачає систематичне вдосконалення енергосистеми шляхом розробки та впровадження нових технологій, які дозволять розширити її функціональні можливості та забезпечити ефективне досягнення визначених ключових цілей;
- Модернізація електричної мережі відкриває нові перспективи для розвитку енергетики, дозволяючи створювати інтелектуальні енергосистеми, які здатні самоорганізовуватися, адаптуватися до змінних умов та ефективно використовувати відновлювані джерела енергії;
- Розробка концепції охоплює всі аспекти, від наукових досліджень до впровадження на практиці, і стосується усіх сфер, необхідних для реалізації проекту: від наукової бази до нормативно-правового забезпечення, технологій, технічних рішень, організації роботи, управління та інформаційного супроводу;
- Концепція є інноваційним проектом, який сприяє формуванню нової енергетичної парадигми.

Концепція Smart Grid передбачає трансформацію електричних мереж з пасивних елементів, що просто передають електроенергію, в активні системи, здатні динамічно змінювати свої параметри для забезпечення оптимальної роботи енергосистеми в різних режимах.

В Smart Grid реалізований принцип взаємодії всіх елементів енергосистеми через обмін даними. Кожен сегмент (генерація, передача, розподіл та споживання) оснащений системами автоматизації, які забезпечують збір, обробку та передачу інформації в єдиний центр управління. Концепція Smart Grid передбачає не лише фізичний обмін електроенергією, але й постійний обмін інформацією між усіма елементами системи, що дозволяє здійснювати моніторинг їх стану, забезпечувати захист від аварій та оптимізувати роботу всієї енергосистеми в режимі реального часу.

Smart Grid – це не просто сукупність новітніх енергетичних технологій. Це складна система, яка охоплює широкий спектр інноваційних рішень в галузі інформаційних та комунікаційних технологій. Від білінгу та електронної комерції до управління доступом та адміністрування мереж, від моделювання даних до кібербезпеки – всі ці компоненти взаємодіють, забезпечуючи ефективне управління енергетичними ресурсами.

Реальний час, віртуалізація, розподілені обчислення та інші сучасні технології дозволяють збирати, обробляти та передавати великі обсяги даних, забезпечуючи точний моніторинг та оптимізацію енергоспоживання.

Big Data та Smart Grid – це рушійні сили інновацій, що дозволяють створювати нові бізнес-моделі. Разом ці технології формують основу для створення масштабних «розумних» підприємств, які працюють на базі сучасних технологічних платформ і надають широкий спектр інноваційних послуг.

Широке застосування новітніх інформаційних технологій, зокрема Big Data, в поєднанні з ефективними системами управління дозволить «розумним» енергосистемам працювати з максимальною ефективністю, динамічно

балансуючи попит та пропозицію енергії. Технологія Smart Grid надасть споживачам змогу активно впливати на роботу енергосистеми. Це не лише підвищить економічну ефективність, а й покращить якість електроенергії та захистить систему від зовнішніх загроз.

Впровадження «розумних» енергосистем відкриє доступ до величезних обсягів якісних даних про роботу електричних мереж. Це дозволить не лише оцінювати їхній стан, а й оптимізувати їхню роботу для забезпечення найвищої якості електропостачання.

Впровадження елементів Smart Grid у різних країнах демонструє, що ці технології забезпечують оптимальні умови для ефективного використання відновлюваних джерел енергії. Вони дозволяють вирішувати як локальні завдання, такі як максимізація прибутку від ВДЕ, так і загальносистемні, як-от підвищення надійності електромереж.

Концепція Smart Grid передбачає поділ усіх учасників енергетичного ринку на окремі функціональні блоки або домени, кожен з яких відповідає за певний аспект енергообміну. Рис. 5.1 наочно демонструє, як в рамках концепції Smart Grid взаємодіють різні учасники енергетичного ринку.

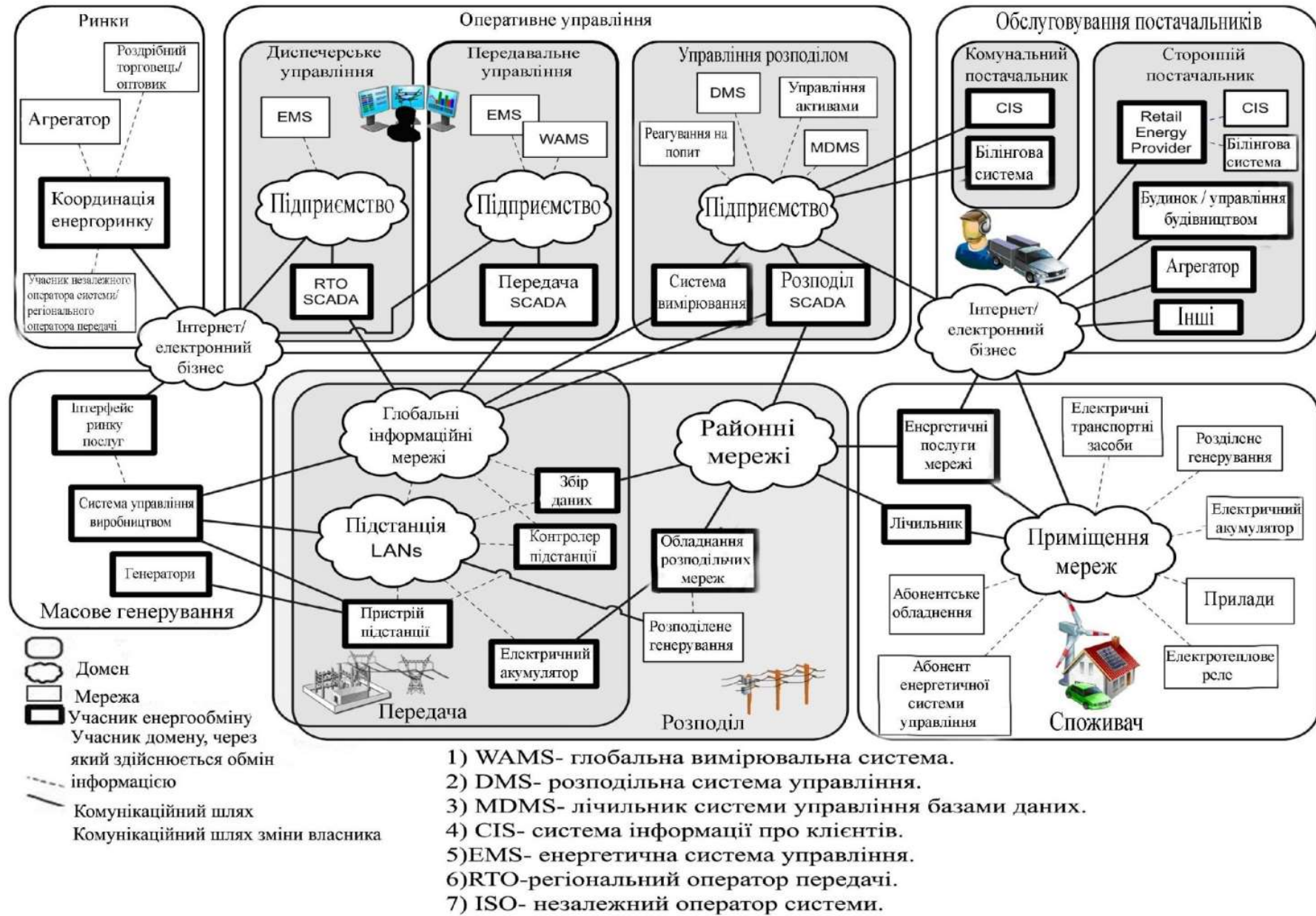


Рис. 5.1. Спрощена схема функціонування енергосистеми

5.2 Структура системи моніторингу та управління енергосистемою, що використовує відновлювані джерела енергії

Поєднання технологій Smart Grid та Big Data відкриває нові можливості для вирішення складних завдань в електроенергетиці, які раніше були недоступні через брак даних. Недостатнє фінансування гальмує процес переходу до Smart Grid, відкладаючи реалізацію всіх переваг цих технологій. Необхідно закласти фундамент для майбутніх Smart Grid, розробляючи гнучкі та масштабовані системи.

Одним з ключових джерел достовірної інформації для систем моніторингу та керування енергосистемами з ВДЕ є автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Завдяки АСКОЕ ми отримуємо детальні дані про споживання електроенергії та виробництво ВДЕ. Для ефективного управління енергосистемою з відновлюваними джерелами енергії необхідно впроваджувати повноформатні ОІКК на основі Smart Grid.

Усі енергопостачальні компанії в Україні ведуть структуровані бази даних, де зберігається вся необхідна комерційна та технічна інформація, яка регулярно оновлюється. Ці системи дозволяють компанії ефективно оцінювати свою роботу, зокрема, визначати економічну доцільність різних рішень та забезпечувати безперебійне електропостачання споживачів.

З огляду на сучасний стан інформаційного забезпечення пропонується дворівнева система моніторингу та керування, схема якої представлена на рис. 5.2. Завдяки цій системі, в рамках концепції Smart Grid, ми зможемо реалізувати наступні функції:

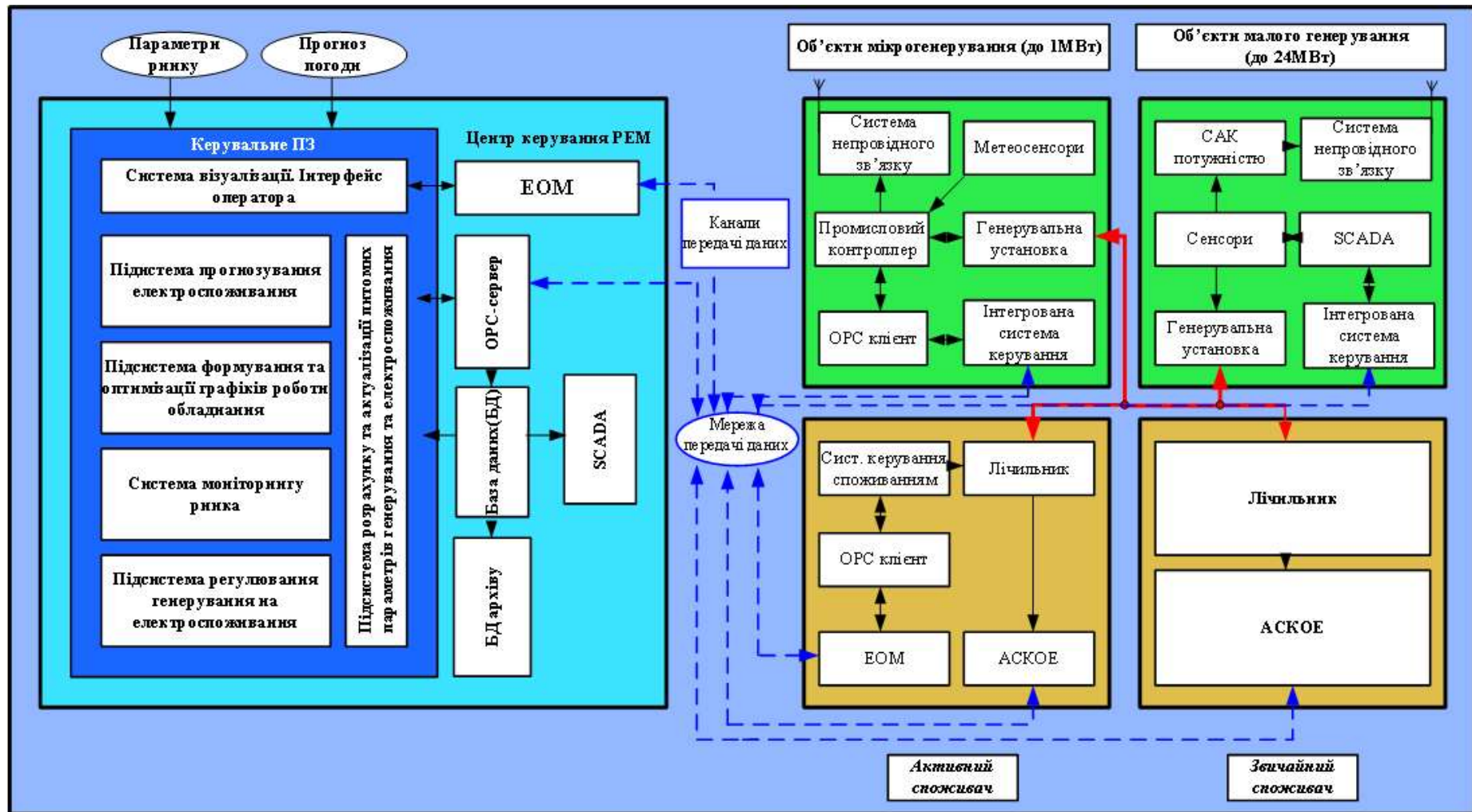


Рис. 5.2. Концепція побудови системи управління та спостереження за енергосистемою з елементами відновлювальної енергетики

1. Стимулювання проактивної поведінки споживачів у сфері енергоспоживання, що дозволяє їм впливати на власні енергетичні потреби. Ступінь участі споживачів в енергосистемі може варіюватися від вибору тарифу до використання власних джерел енергії, включаючи відновлювані. В результаті ми отримуємо економію на експлуатаційних витратах.

2. Перехід від однорідного забезпечення якості електроенергії до диференційованого підходу, що дозволяє пропонувати різні рівні якості та надійності електроенергії відповідно до вимог та платоспроможності різних груп споживачів. Впровадження систем моніторингу та контролю дозволяє створити самовідновлювану мережу, яка мінімізує ризик виникнення аварій та продовжує термін експлуатації обладнання підстанцій. Розумні електромережі мають забезпечувати індивідуальний підхід до кожного споживача, пропонуючи різноманітні тарифи та рівні якості електроенергії, а також постійний моніторинг стану мережі для своєчасного виявлення та усунення будь-яких проблем.

3. Розподілене генерування – це сукупність різних типів електростанцій, розташованих близько до споживачів, та систем акумулювання електроенергії, які дозволяють зберігати енергію для подальшого використання. Перехід до децентралізованої енергетики шляхом створення "мікромереж", які об'єднують різні джерела енергії та акумулятори, підключені до загальної електромережі за єдиними правилами. Слід створити сприятливі умови для розвитку індивідуальних та колективних енергетичних систем на основі відновлюваних джерел енергії.

4. Розширення можливостей споживачів на ринку електроенергії. Завдяки розумним електромережам та відкритому ринку електроенергії, споживачі отримають більше можливостей для вибору постачальників, а виробники – для продажу своєї продукції. Це сприятиме розвитку нових технологій та підвищенню енергоефективності. Споживачі отримують новий статус – просumerів, тобто одночасно споживачів і виробників електроенергії.

5. Максимальне використання потенціалу активів. Інтеграція систем моніторингу в корпоративні системи управління для оптимізації роботи електромереж та своєчасного обслуговування обладнання на основі його стану. Впровадження концепції Smart Grid дозволяє оптимізувати роботу електромереж в режимі реального часу на основі даних про технічний стан обладнання, що сприяє зменшенню втрат електроенергії, підвищенню ефективності виробництва та споживання.

Система дозволить реалізувати двосторонню комунікацію між виробниками та споживачами електроенергії, забезпечуючи ефективне управління попитом та пропозицією.

Впровадження нових підходів потребує додаткових фінансових ресурсів, які можуть бути отримані шляхом оптимізації інвестиційного портфеля та вибору проектів з найвищою нормою повернення інвестицій.

Для прийняття обґрунтованого рішення щодо розвитку локальної енергосистеми, проведемо порівняльний аналіз двох альтернативних варіантів: 1 – заміна трансформатора з реконструкцією підстанції 110/35/10 кВ потужністю 25 МВА у зв'язку з зростанням навантаження на 56%; 2 – використання потенціалу локальних енергетичних систем для підключення нових споживачів за рахунок впровадження систем керування, які дозволяють оптимально розподіляти вироблену та спожиту електроенергію. Рисунок 5.3 наочно демонструє фінансові результати, отримані в ході розрахунку економічної ефективності двох альтернативних сценаріїв розвитку локальної енергетичної системи. Вартість проекту оцінена за середніми галузевими показниками вартості обладнання та робіт, що дозволяє отримати найбільш об'єктивну картину витрат.

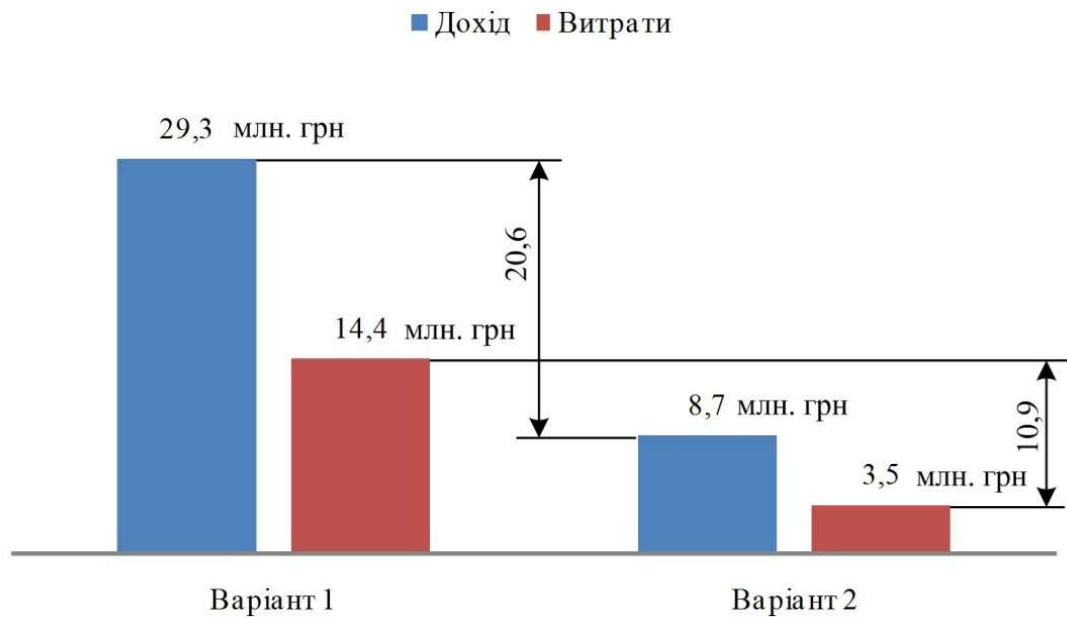


Рис. 5.3. Аналіз економічного ефекту від впровадження систем управління розподіленим генеруванням

Значно більші доходи першого варіанту пояснюються постійним зростанням навантаження на електричну мережу. Другий варіант передбачає активне управління споживанням електроенергії відповідно до графіків виробництва, що призводить до обмеження зростання доходів. Впровадження системи стимулюючого керування навантаженням в другому варіанті дозволяє знизити пікові навантаження на мережу та оптимізувати використання відновлюваних джерел енергії. Основна частина витрат другого варіанту припадає на розробку програмного забезпечення та встановлення інтелектуальних приладів обліку.

За допомогою методу внутрішньої норми прибутку було проведено оцінку ефективності капіталовкладень. Результати цього аналізу наведено на рис. 5.4.

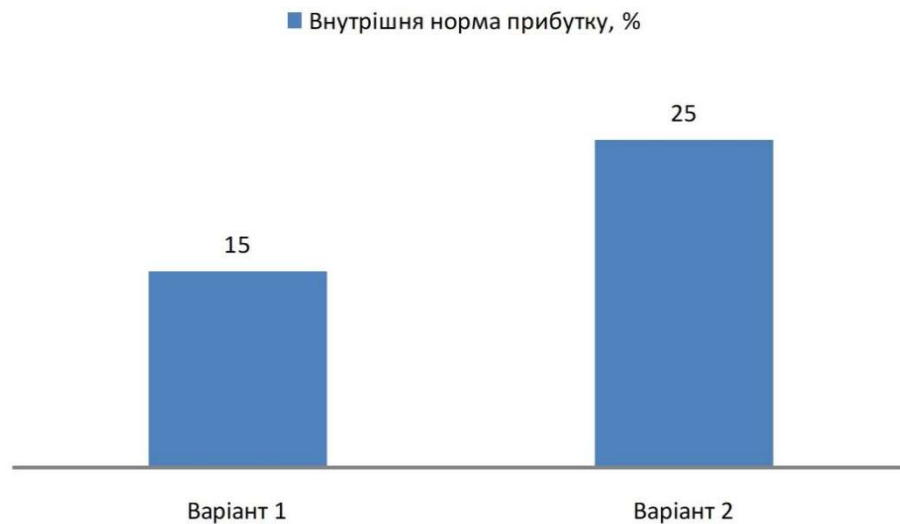


Рис. 5.4. Обчислення IRR (внутрішньої норми прибутку)

Внутрішня норма прибутку (IRR) – це інструмент фінансового аналізу, який дозволяє порівнювати різні інвестиційні проекти та обирати найбільш прибуткові. Високий IRR свідчить про високу ефективність використання інвестиційних ресурсів. Внутрішня норма прибутку – це процентна ставка, яка відображає середню річну прибутковість інвестиційного проекту, незалежно від його масштабу.

Обмеження у другому варіанті не зменшили його привабливості для інвесторів завдяки високій ефективності. Реконструкція ЛЕС за таким принципом відкриває шлях для впровадження інноваційних технологій і поступового переходу до концепції "розумних" енергомереж.

5.3 Усунення обмежень, пов'язаних з недостатнім обсягом та якістю початкових даних

Запропонований метод оцінки базується на кількісному аналізі електричних величин, таких як струми та потужності, у вузлах енергосистеми. Використання даних, які вже збираються системами АСКОЕ та розумними лічильниками, дозволяє нам оптимізувати процес збору інформації та прискорити отримання результатів.

Не всі точки споживання обладнані автоматизованими системами обліку, і дані, які ми отримуємо, можуть бути не зовсім точними через розбіжності в

часі. Отже, слід детально проаналізувати альтернативні джерела вихідних даних.

Давайте розберемося, як відсутність деяких даних впливає на точність оцінки економічної ефективності роботи електричної мережі. Для цього розглянемо конкретний приклад розрахунку втрат електроенергії на схемі, яку ви бачите на рис. 5.5. Модель фрагмента електричної мережі, представлена на рисунку 5.6, була розроблена в середовищі «PowerFactory 15.1». Джерелами живлення для цієї моделі є дві підстанції з трансформаторами напругою 110/10 кВ, сонячні електростанції та малі гідроелектростанції.

Як вже було відмічено, технічні засоби для визначення електричних параметрів у вузлах споживачів та генераторів є доступними. Проте, через фінансові обмеження, не всі точки споживання обладнані системами автоматизованого комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) або навіть інтелектуальними лічильниками.

Основними джерелами числових характеристик розподільних електромереж є:

1. Лічильники, встановлені на головних ділянках 10 кВ, здатні фіксувати лише сумарний обсяг відпущеної електроенергії за звітний період, що обмежує можливості для детального аналізу споживання. Для споживальних підстанцій доступна виключно паспортна інформація щодо трансформаторів;

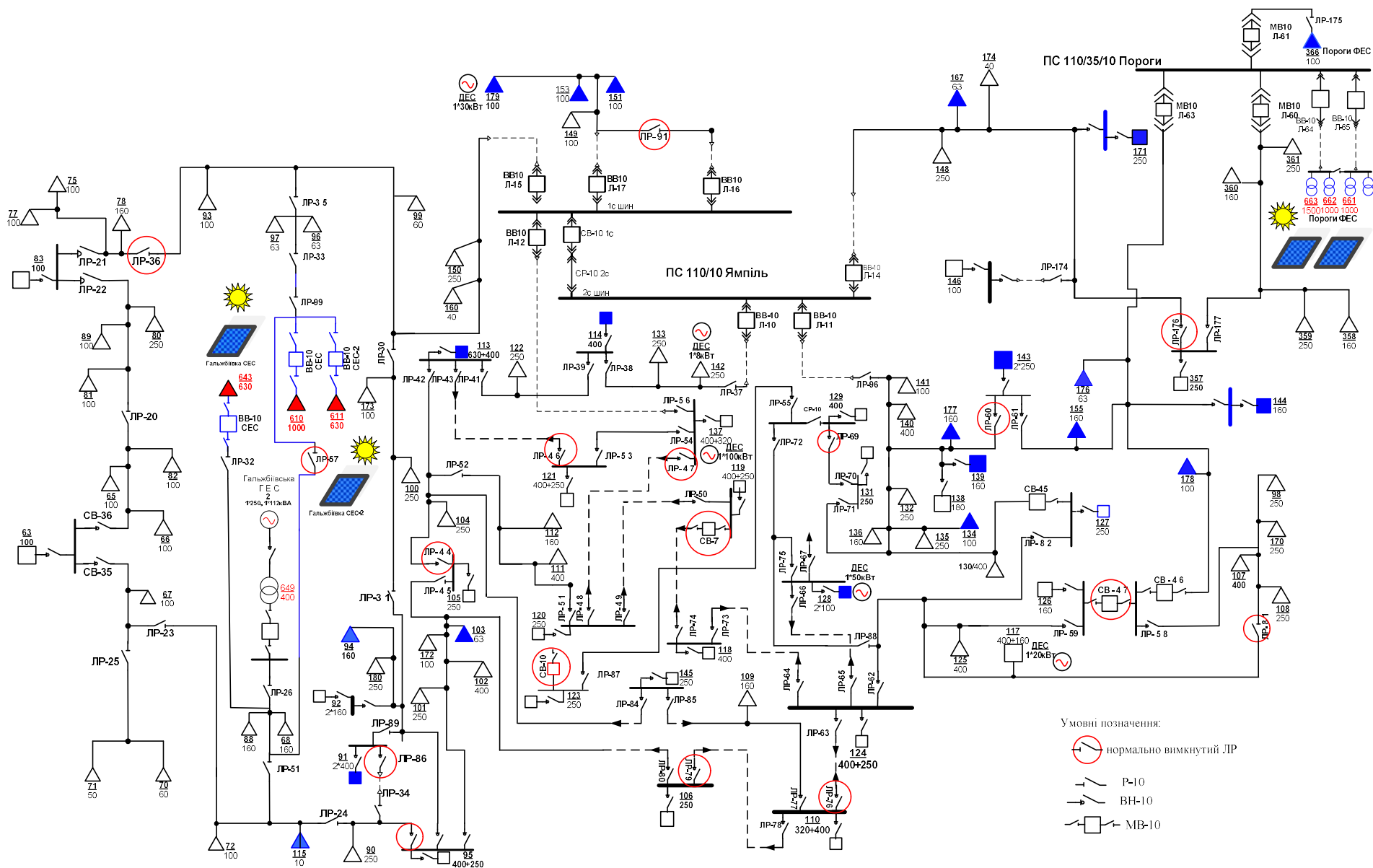


Рис. 5.5. Частина схемної документації електричної мережі Ямпільського району

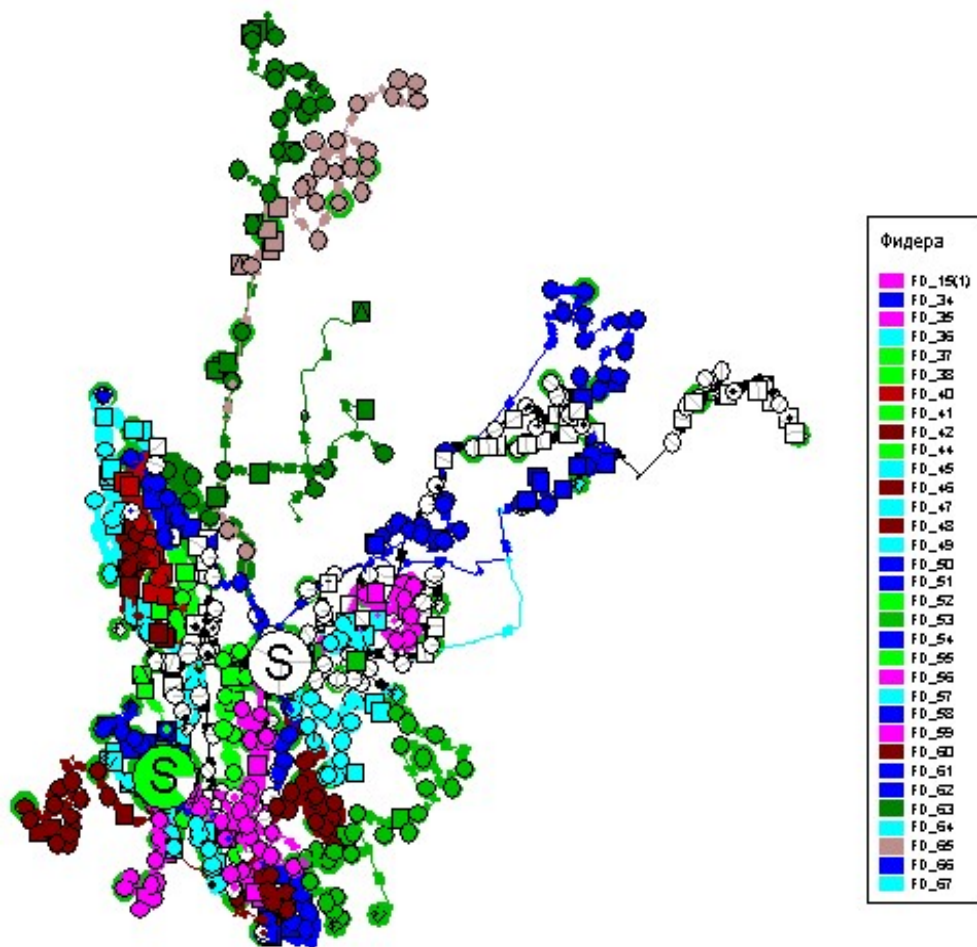


Рис. 5.6. Фрагмент схеми Ямпільських районних електричних мереж, що включає підстанції «Ямпіль» та «Пороги» з фідерами 10 кВ, реалізовано в програмному комплексі PowerFactory версії 15.1.

2. На всіх головних ділянках електричних мереж напругою 10 кВ встановлено однотипні прилади обліку електроенергії. Для споживчих підстанцій додатково надаються дані про загальний відпуск електроенергії за звітний період, що дозволяє розрахувати коефіцієнти завантаження їх трансформаторів;

3. Для всіх головних ділянок мереж 10 кВ передбачено обладнання для фіксації сумарного обсягу електроенергії та побудови графіків її споживання за певний період. Для споживчих підстанцій, окрім даних про відпуск електроенергії, визначено типові графіки навантаження та генерації (рис. 6.7), що дозволяє моделювати ймовірні режими роботи електричної мережі з кроком 30 хвилин;

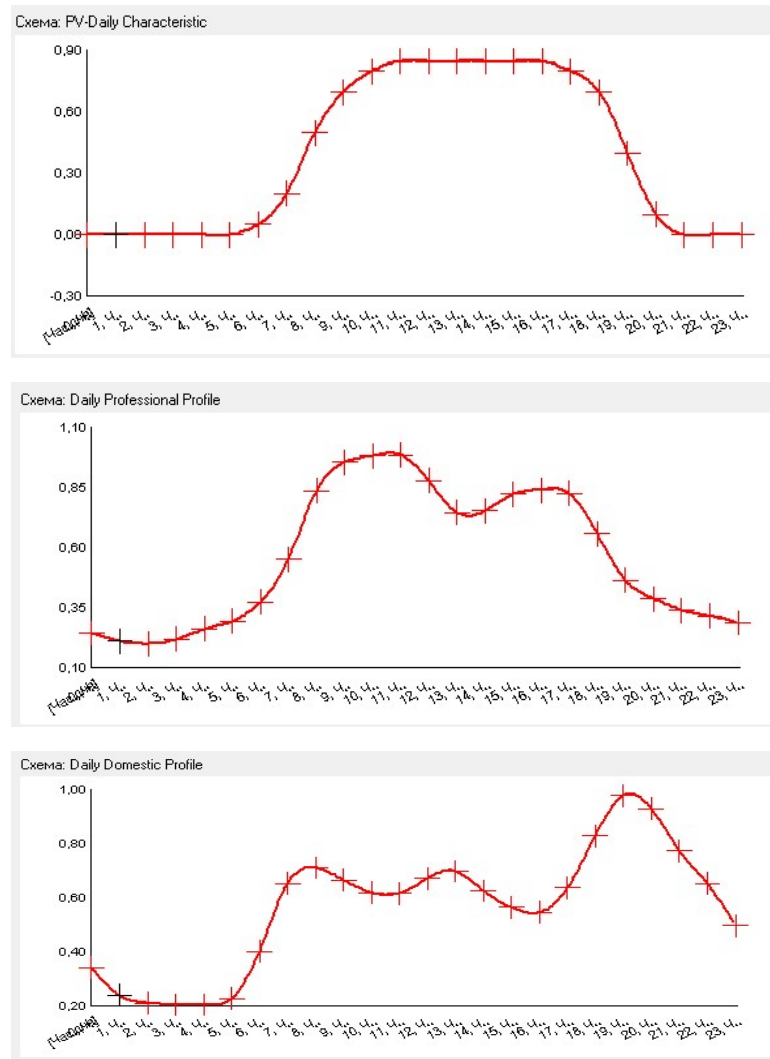


Рис. 5.7. Характерні криві зміни споживання та виробництва електроенергії на підстанціях розподільних мереж

4. Інформаційне забезпечення головних ділянок електричних мереж 10 кВ та підстанцій споживачів аналогічне до попереднього розглянутого випадку. Для моніторингу температурного режиму навколишнього середовища на окремих підстанціях встановлено метеорологічні станції, що забезпечують реєстрацію даних про температуру в динаміці. Це дає змогу інтегрувати температурну залежність опорів ліній електропередачі в економічну складову комплексного показника якості функціонування електричної мережі.

Для електричних мереж напругою 0,4 кВ у зазначених розрахункових умовах застосовується модель, яка замінює мережу еквівалентними опорами, визначеними за відповідною методикою. Врахування температурної

залежності питомого опору матеріалу провідників ліній електропередачі 0,4 кВ призводить до відмінностей у розрахункових значеннях опорів, оскільки цей параметр змінюється згідно зі зміною середньої температури повітря протягом року.

Отримані значення економічної складової якості функціонування, наведені в таблиці 5.1, порівнюються з базовим значенням 0,33, розрахованим на основі статистичних даних про струми та потужності в вузлах генерації та споживання.

Таблиця 5.1. Аналіз залежності ймовірності мінімізації втрат в розподільній мережі від зміни вихідних даних.

Умови розрахунку	Розрахункові ймовірності відповідності втрат електроенергії «ідеальному» режиму, в.о.
Розрахунок за характерним режимом (середніх навантажень)	
Задано надходження електроенергії на головних ділянках фідерів	0,72 (118,2%)
Задано коефіцієнти завантаження ТП	0,54 (63,6%)
Розрахунок з імітацією режимів за графіками	
Враховуються графіки генерування	0,42 (27,3%)
Враховуються графіки навантаження	0,39 (18,2%)
Враховуються графіки навантаження та генерування	0,36 (9,1%)
Розрахунок з урахуванням температури ЛЕП	
Враховується температура проводів ЛЕП	0,37 (12,1%)

Згідно з результатами аналізу (табл. 5.1), оптимальним підходом до моделювання режимів є використання графіків навантаження та генерації.

Відхилення результатів при зміні вихідних даних можуть бути зумовлені неможливістю врахувати всі можливі, хоча й малоймовірні, режими роботи системи, які суттєво відрізняються від ідеального.

Таким чином, використання моделювання за графіками навантажень і генерації дозволяє отримати більш точні оцінки економічності електричних мереж у порівнянні з іншими методами. Цей підхід є перспективним для застосування в умовах розвитку інтелектуальних енергосистем (Smart Grid). Для підвищення точності розрахункової моделі електричної мережі та її відповідності реальним умовам експлуатації необхідно враховувати динамічні зміни мережі (зміни топології, стану комутаційної апаратури тощо), а також детальні дані про споживання електроенергії та вироблення електроенергії розподіленими джерелами.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) мають важливе значення для аналізу та оптимізації режимів локальних енергетичних систем. Використання таких систем дозволяє забезпечити точність обліку енергоспоживання, що, в свою чергу, знижує енергетичні втрати та покращує економічні показники як для споживачів, так і для постачальників електроенергії.

АСКОЕ сприяють підвищенню ефективності управління енергетичними мережами, дозволяючи в реальному часі здійснювати моніторинг режимів роботи та оперативно реагувати на зміни в навантаженні. Це є особливо важливим для локальних енергетичних систем, де стабільність і надійність енергопостачання мають критичне значення. Водночас, автоматизація процесу обліку дає можливість точніше прогнозувати споживання електроенергії та оптимізувати використання ресурсів.

Інтеграція АСКОЕ з відновлювальними джерелами енергії та системами зберігання енергії дозволяє ще більше підвищити ефективність локальних енергетичних мереж, зменшуючи залежність від централізованих джерел енергії. Це також сприяє розвитку сталої енергетики і знижує екологічний вплив на навколишнє середовище.

Автоматизовані системи обліку мають значний потенціал для вдосконалення та інтеграції з новітніми технологіями, такими як «розумні мережі». Це сприятиме ефективнішому використанню енергетичних ресурсів, підвищенню надійності постачання електроенергії та сталому розвитку локальних енергетичних систем.

Таким чином, проведене дослідження підтвердило важливість і ефективність застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії в аналізі режимів локальних енергетичних систем і їх внесок у

підвищення енергетичної ефективності, надійності та економічної вигоди енергетичних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку / Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держком- енергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від 17.04.2000 р. - м. Київ.
2. Поліщук О.А. Автоматизовані системи обліку електроенергії: навч. посіб. - Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2015.-136с.
3. Інструкція з ведення обліку та звітності за електричною енергією: затв. наказом Міненерго України від 16.08.2018 р. № 763.
4. Ковалев В.С., Ковалева И.В. Обзор систем коммерческого учета электроэнергии и программных средств их обработки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Энергетика. - 2014. - №2 (10). - С. 75-84.
5. Мітченко В. В. Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії в умовах лібералізації електроенергетики України. // Енергетика та електротехніка. - 2017. - №5. - С. 19-23.
6. Андриєвський А. Технології обліку електричної енергії в Україні. // Електротехніка та електромеханіка. - 2017. - №1. - С. 40-44.
7. Баранович Ю. О. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії на базі програмного забезпечення "ЕРУДИТ". // Молодий вчений. - 2018. - №10 (60). - С. 1-4.
8. Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.Є. Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах // Технічна електродинаміка. - 2012. - №3. - С. 47-48.
9. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Праці Інституту електродинаміки НАН України. - 2011. - Частина 1. - С. 5-20.

10. Чернявський А.В., Якобюк Д.В. Інформаційно-аналітичні засоби моніторингу енергоефективності об'єктів нафтодобувної галузі // Енергетика: економіка, технології, екологія. - 2014. - №2. - С. 111-115.
11. Кігель А.Г. Шляхи підвищення ефективності автоматизованого керування об'єктами енергетичних компаній та систем // Наукові праці Донецького національного технічного університету. - 2011. - №11 (186).
12. Попович В.І., Старинець В.Д., Старинець О.В. Впровадження інтелектуальних систем вимірювань електроенергії: європейський досвід. - 2013-2014.
13. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Визначення технологічних втрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання», 2011, №532, ст. 65.
14. Васильченко В.І., Гриб О.Г., Светелик О.Д., Тесик Ю.Ф. Автоматизована система обліку електричної енергії з контролем якості показників якості // Енергетика та електрифікація. - 2013. - №11.
15. Системи ЛУЗОД/АСКОЕ [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: https://kyivenergo.ua/ee-company/sistemi_luzodaskoe
16. Нестеров И.М. Smart Metering в концепции Smart Grid. - 2013.
17. Калінчик В.П., Шиянов О.О., Філянін Д.В., Кульбачний П.В. Побудова систем обліку електроенергії об'єктів альтернативної енергетики. - 2013.
18. Кутін В. М. Релейний захист електричних станцій. Навчальний посібник / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 110 с
19. Кузьмик О.В., Лежнюк П.Д., Комар В.О. та Лесько В.О. Оптимізація режимів розподільних електричних мереж в умовах зростання частки розосередженого генерування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. №129, с. 29-31, 2012

20. Кузьмик О.В., Лежнюк П.Д., Комар В.О. та Лесько В.О. Оптимізація режимів розподільних електричних мереж в умовах зростання частки розосередженого генерування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. №129, с. 29-31, 2012.

21. Кузьмик О.В., Лежнюк П.Д., Комар В.О. та Лесько В.О. Оптимізація режимів розподільних електричних мереж в умовах зростання частки розосередженого генерування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. №129, с. 29-31, 2012.

22. Рубаненко О.Є., Комар В.О., Сікорська О.В. "Аналіз нормальних режимів розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії засобами натурно-імітаційного моделювання". В Всеукр. наук. семінар "Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальному господарстві та на промислових підприємствах", Луцьк, 2015, с. 133-135.

23. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є., Сікорська О.В., Комар В.О. Спосіб оптимального керування режимами розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням // МПК(2006.01) G01R 31/00. №u201604575, Лист.10, 2016.

24. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кулик В.В. Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж // Енергетика та електрифікація. № 1. С. 8-12, 2015.

25. Праховник А.В., Коцар О.В., Прокопець В.І. Сучасні принципи побудови АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та АСКОЕ споживачів в умовах енергоринку України // Енергетика і електрифікація. № 4. С. 2-7, 2006.

Експерт _____
(за потреби) (підпис) (прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В.О.

«_____» _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОМЕРЦІЙНОГО
ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЗАДАЧАХ АНАЛІЗУ РЕЖИМІВ ЛОКАЛЬНИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ»

Науковий керівник д.т.н.,

Комар В.О.

Магістр групи ІЕСМ-23М

Підгорець І.О.

Вінниця 2024 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) Енергоефективність сьогодні є одним з найгостріших питань, особливо для України. Ефективне використання електроенергії є ключовим фактором для економічного зростання та енергетичної незалежності країни. Одним з ефективних шляхів досягнення енергоефективності стало широке застосування автоматизованих систем моніторингу електроспоживання.

В умовах постійного зростання споживання електроенергії та збільшення навантажень на енергетичні системи, ефективний облік та аналіз режимів їх роботи стає надзвичайно важливим. Застосування автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) дозволяє не лише підвищити точність вимірювання споживання електроенергії, але й забезпечити оперативний доступ до даних для їх подальшого аналізу.

Локальні енергетичні системи, які часто включають відновлювальні джерела енергії, такі як сонячні панелі та вітрові електростанції, вимагають особливого підходу до обліку і моніторингу. У цих системах коливання споживання та виробництва електроенергії можуть бути значними, тому їх управління вимагає застосування сучасних технологій.

б) наказ ректора ВНТУ №310 від 17 вересня 2024 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи

2. Мета і призначення МКР

а) систематизувати наявні знання про будову та функціонування АСКОЕ, а також про особливості режимів роботи локальних енергетичних систем.

б) створити методологію застосування АСКОЕ для аналізу режимів локальних енергетичних систем, включаючи збір, обробку та аналіз даних, моделювання та прогнозування.

в) оцінити ефективність використання АСКОЕ для підвищення надійності, економічності та екологічності роботи локальних енергетичних систем.

г) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів.

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Вказані в таблицях Б1-Б4

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники розвитку мережі і на основі їх аналізу зробити висновок про доцільність розвитку мережі.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	21.09.24	29.09.24	формування теми МКР
2	Вступ. Огляд літературних джерел	30.09.24	10.10.24	аналітичний огляд літературних джерел
3	Виконання теоритичної частини МКР.	11.10.24	05.11.24	ПЗ
4	Формування висновків по роботі	06.11.24	12.11.24	ПЗ
5	Оформлення пояснювальної записки	13.11.24	17.11.24	ПЗ
6	Виконання графічної частини та оформлення презентації	18.11.24	27.11.24	ПЗ
7	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	28.11.24	01.12.24	Результат перевірки на плагіат, відгук керівника
8	Рецензування МКР	01.12.24	04.12.24	Відгук опонента
9	Захист МКР	Перша декада грудня		Доповідь та відповіді на запитання

7. Очікуванні результати

В результаті магістерської кваліфікаційної роботи, була створена детальна методологія застосування АСКОЕ для аналізу режимів локальних енергетичних систем, включаючи етапи збору, обробки та аналізу даних, побудови моделей та розробки сценаріїв. Проведені експериментальні дослідження на реальних об'єктах для перевірки ефективності розроблених методів і алгоритмів.

8. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР (паперовий екземпляр), ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, протокол перевірки МКР на наявність текстових запозичень.

9. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником та завідувачем кафедри ЕСС згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

10. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги накладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістрському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

11. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом відсутні.

Розрахунок втрат електроенергії на схемі, яку ви бачите на рис. 5.5. Модель фрагмента електричної мережі, представлена на рисунку 5.6, була розроблена в середовищі «PowerFactory 15.1». Джерелами живлення для цієї моделі є дві підстанції з трансформаторами напругою 110/10 кВ, сонячні електростанції та малі гідроелектростанції.

Додаток В
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОМЕРЦІЙНОГО
ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЗАДАЧАХ АНАЛІЗУ РЕЖИМІВ ЛОКАЛЬНИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

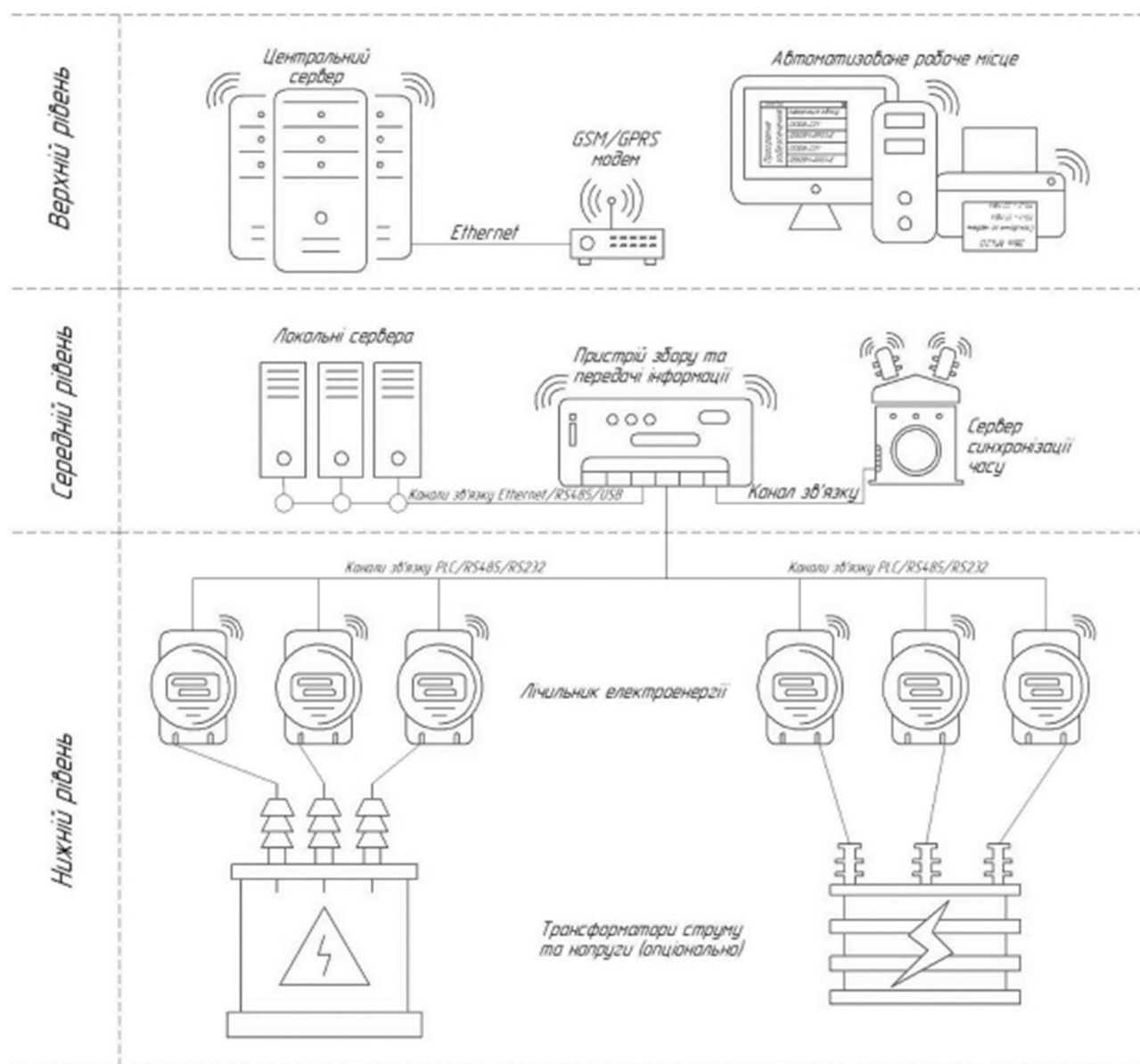


Рисунок 1.3 Типовий розподіл систем автоматизованого обліку електроенергії

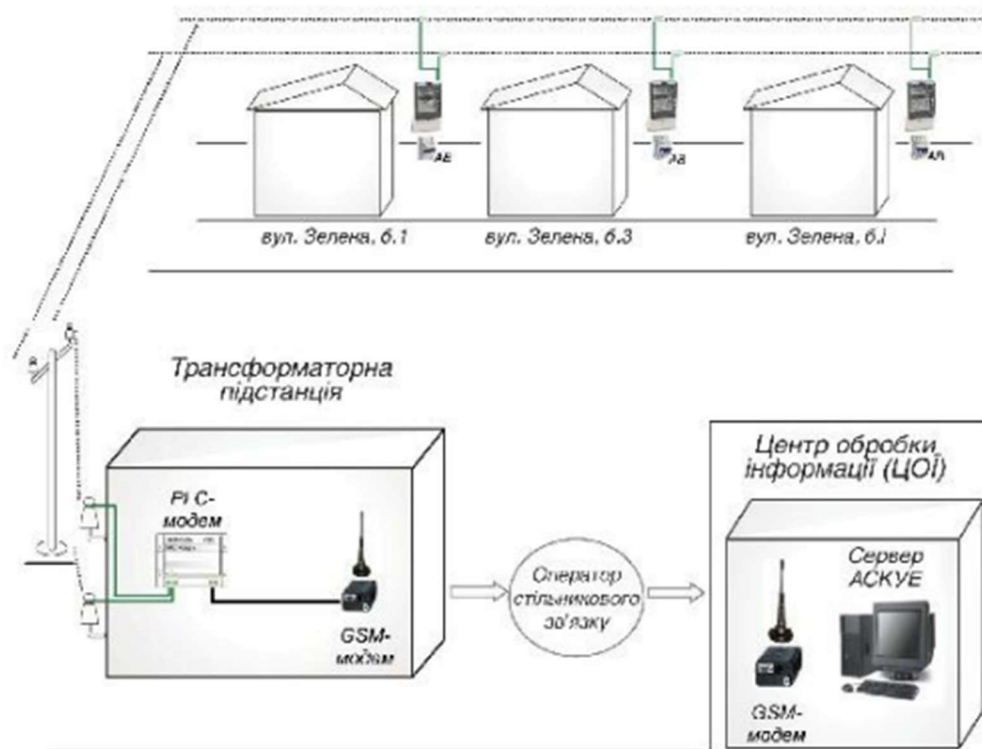


Рисунок 1.4 – АСКОЕ з передачею даних через силову мережу 0,4 кВ.



Рисунок 1.5 - Використання GSM-модему в системі автоматизованого обліку електроенергії

Тип системи	Дальність роботи, м	Шлях передачі даних	Основні переваги	Основні недоліки
PLC	500-1000	Існуючі лінії електропередач	Простота монтажу, невисока вартість	Перебої в роботі через частотні перешкоди
RS-485	Необмежена	Окрема низьковольтна лінія	Якість зв'язку, надійність роботи	Висока вартість за рахунок необхідності прокладання додаткових мереж зв'язку
GSM, GPRS	Необмежена	Мобільні мережі	Простота монтажу	Вартість зв'язку, відсутність мережевого покриття в деяких районах
RADIO 433, 866 МГц	50-100	Радіоканал	Не вимагає прокладки окремих ліній	Дороговизна обладнання, радіоперешкоди
INTERNET	Необмежена	Інтернет зв'язок	Не потребує додаткового обладнання	Залежність від інтернет зв'язку на кожному об'єкті

Таблиця 1.1 – Порівняльне дослідження різних типів АСКОВЕ

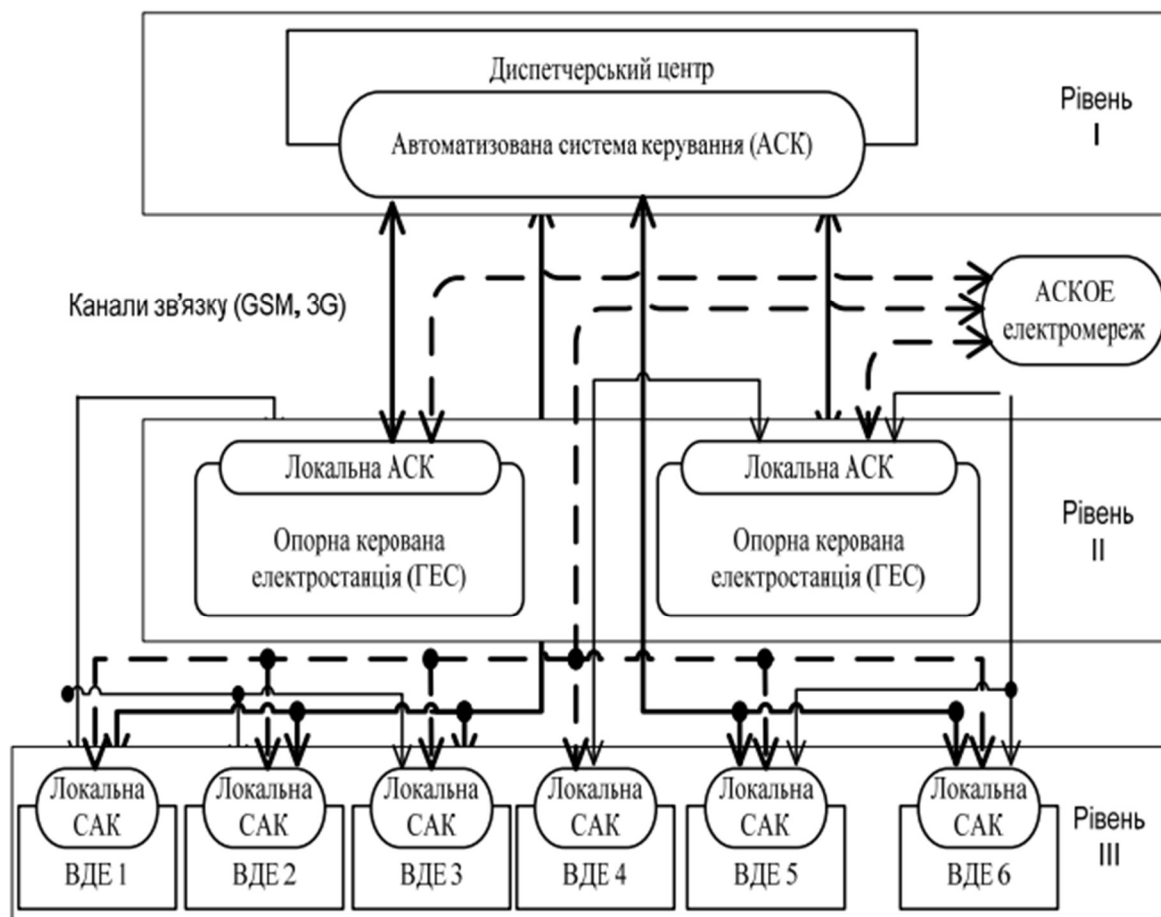


Рисунок 2.1 – Структура автоматизованої системи керування для розподілених джерел енергії

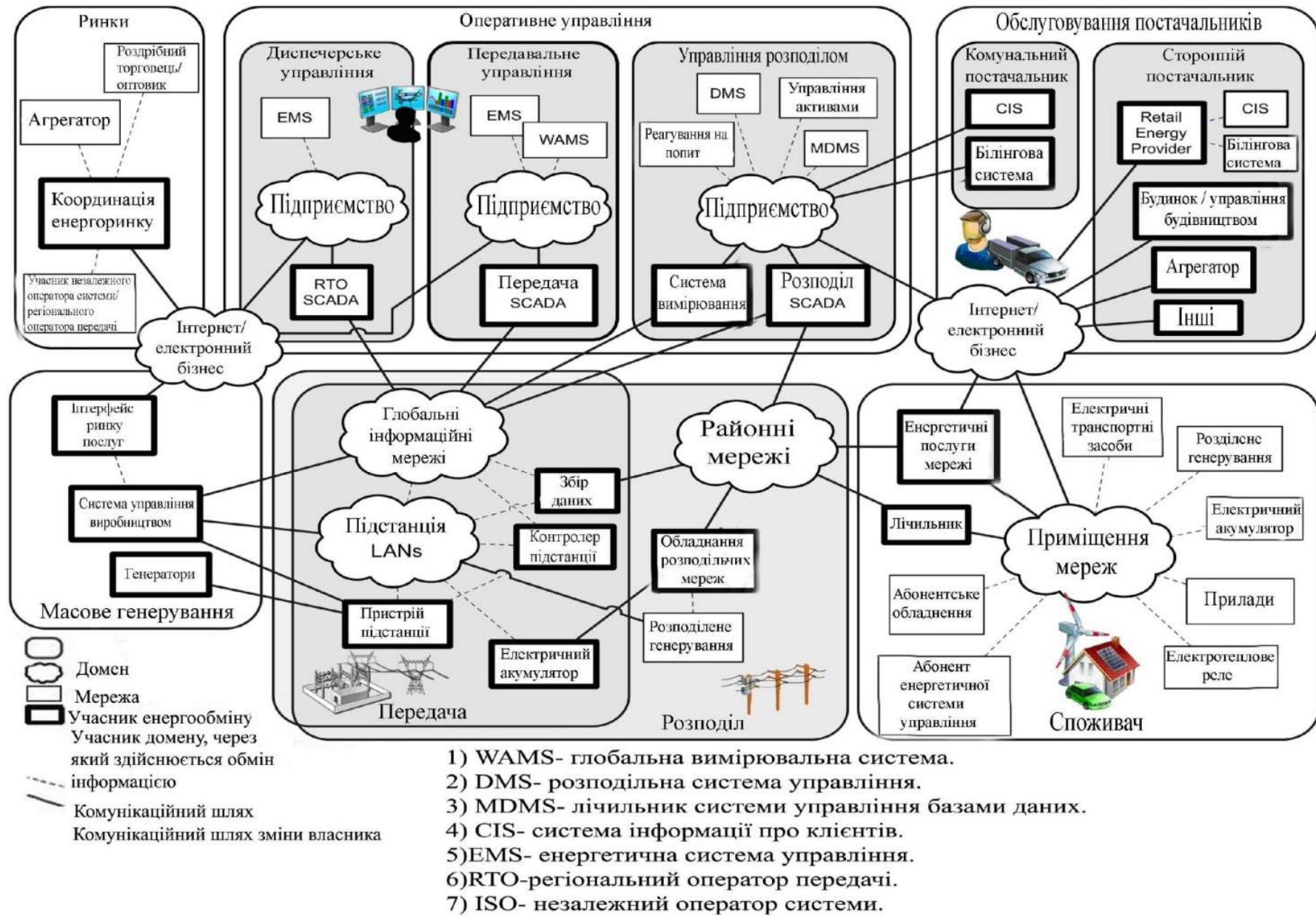


Рис. 5.1. Спрощена схема функціонування енергосистеми

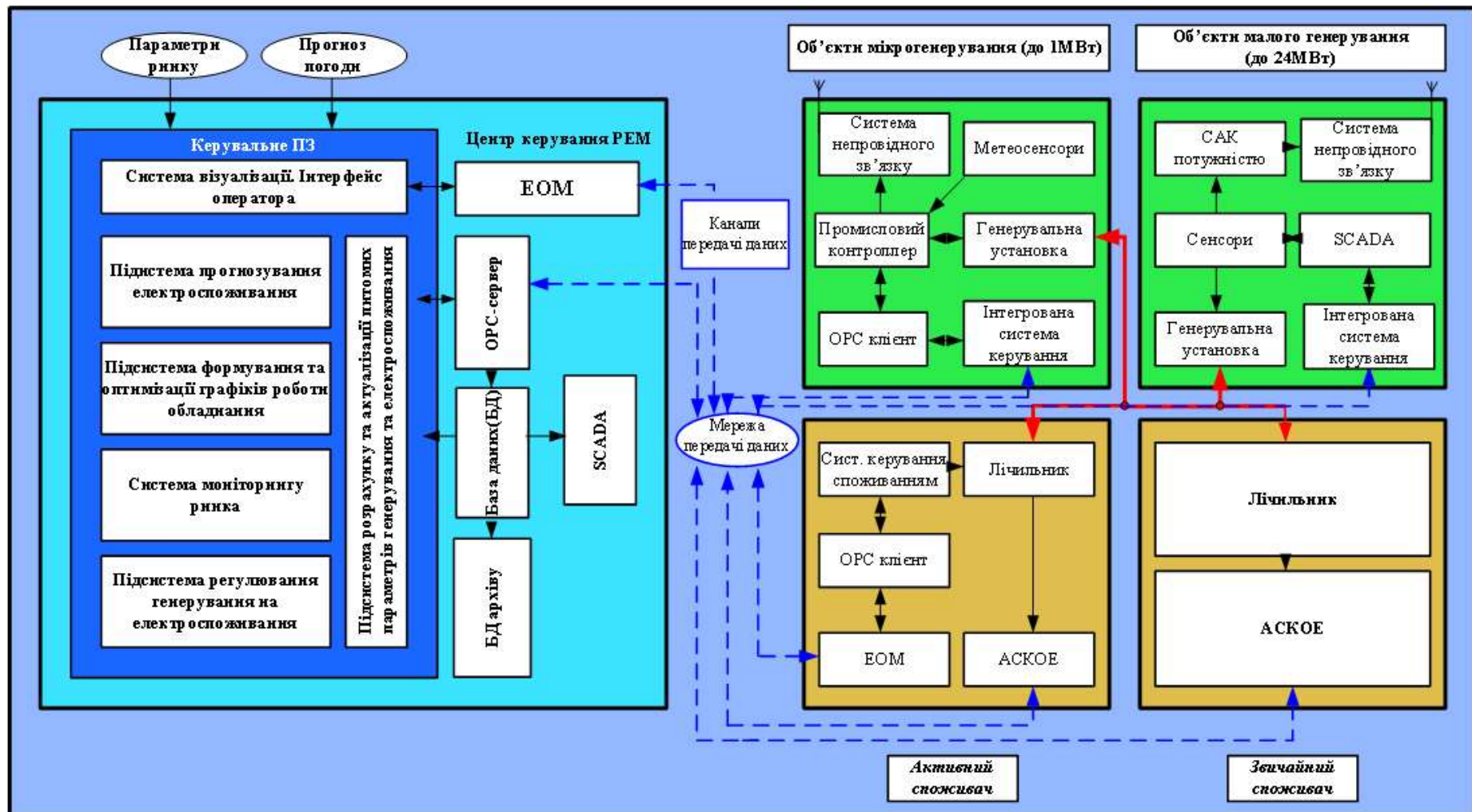


Рис. 5.2. Концепція побудови системи управління та спостереження за енергосистемою з елементами відновлювальної енергетики

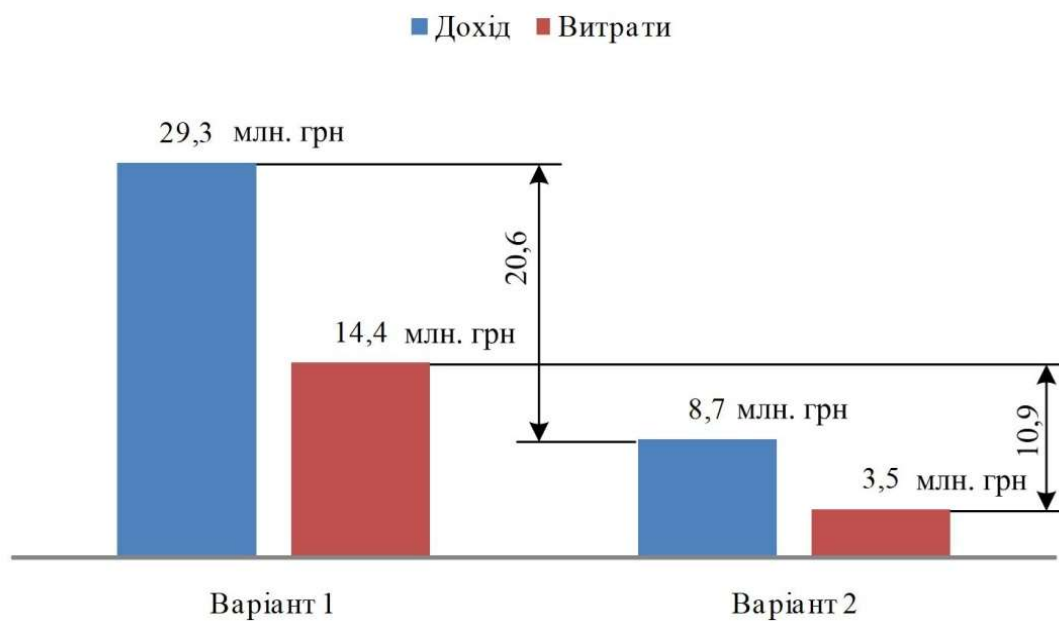


Рис. 5.3. Аналіз економічного ефекту від впровадження систем управління розподіленим генеруванням

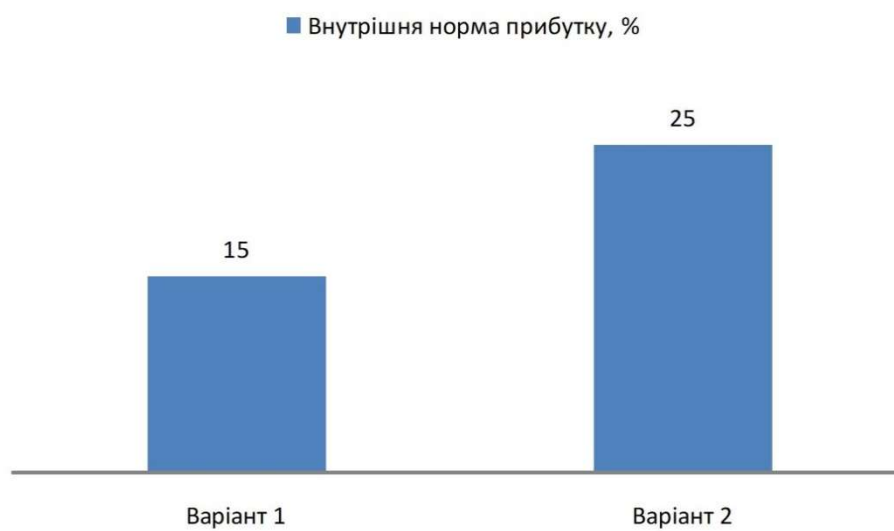


Рис. 5.4. Обчислення IRR (внутрішньої норми прибутку)

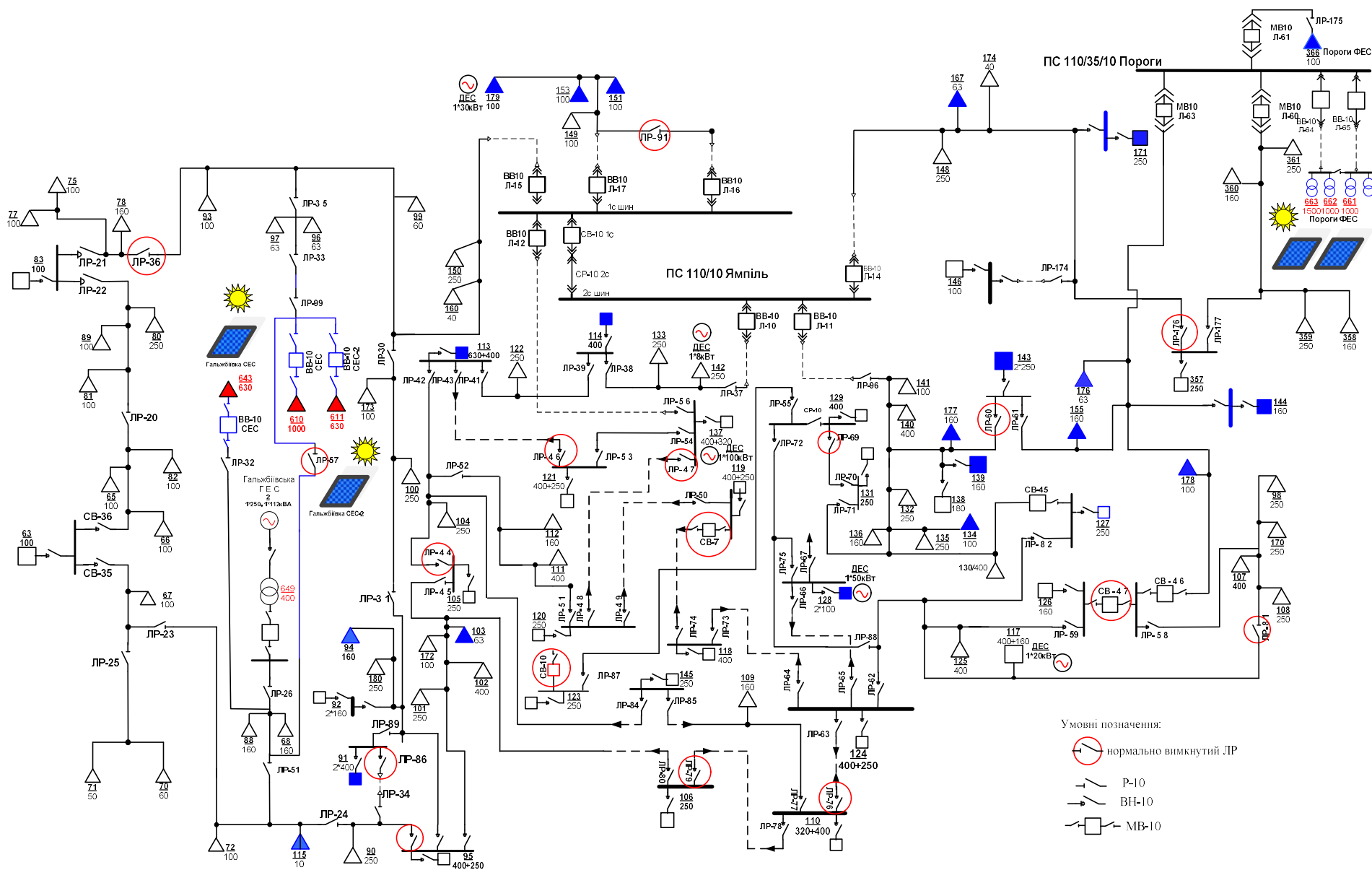


Рис. 5.5. Частина схемної документації електричної мережі Ямпільського району

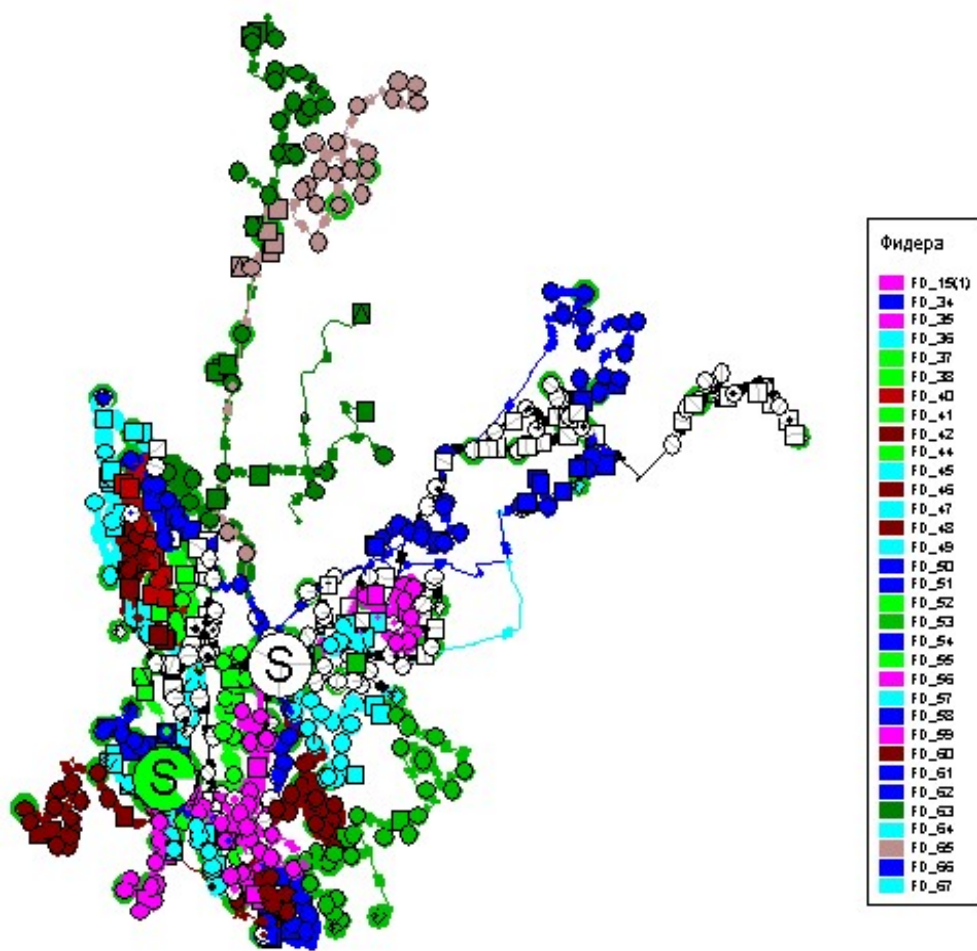


Рис. 5.6. Фрагмент схеми Ямпільських районних електричних мереж, що включає підстанції «Ямпіль» та «Пороги» з фідерами 10 кВ, реалізовано в програмному комплексі PowerFactory версії 15.1.

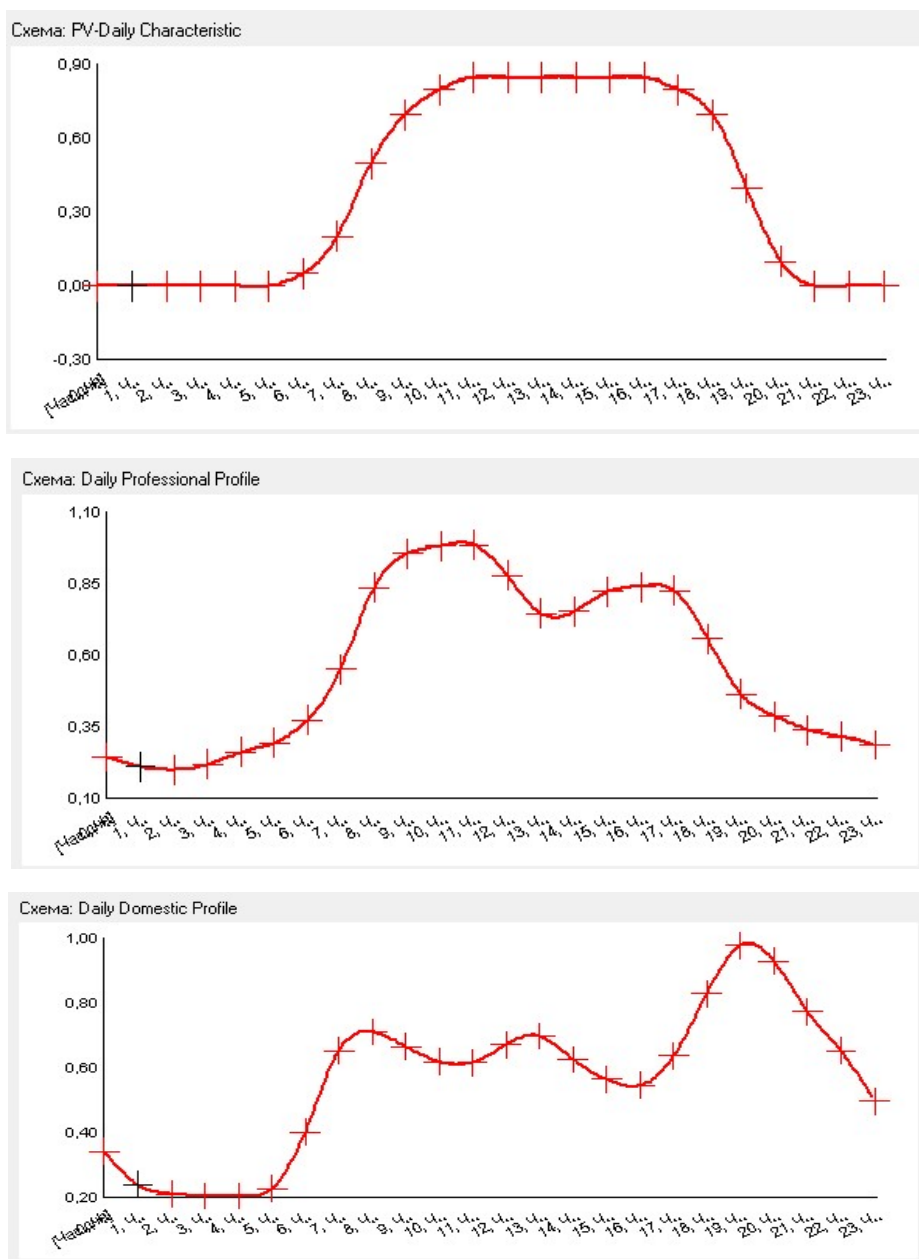


Рис. 5.7. Характерні криві зміни споживання та виробництва електроенергії на підстанціях розподільних мереж

Умови розрахунку	Розрахункові імовірності відповідності втрат електроенергії «ідеальному» режиму, в.о.
Розрахунок за характерним режимом (середніх навантажень)	
Задано надходження електроенергії на головних ділянках фідерів	0,72 (118,2%)
Задано коефіцієнти завантаження ТП	0,54 (63,6%)
Розрахунок з імітацією режимів за графіками	
Враховуються графіки генерування	0,42 (27,3%)
Враховуються графіки навантаження	0,39 (18,2%)
Враховуються графіки навантаження та генерування	0,36 (9,1%)
Розрахунок з урахуванням температури ЛЕП	
Враховується температура проводів ЛЕП	0,37 (12,1%)