

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАНИЙ УКРАЇНИ
Факультет (ННІ) Енергетики, автоматики і енергозбереження

УДК

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету (Директор ННІ)
Енергетики, автоматики і енергозбереження
(назва факультету (ННІ))

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Електропостачання ім. проф. В. М. Синькова
(назва кафедри)

Каплун В.В.

Козирський В.В.

(підпис) (ПІБ) (підпис) (ПІБ)
" " 20 р. " " 20 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: ПРОГРАМО ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ
ЛОКАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Спеціальність 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

Освітня програма

(назва)
Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)
Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
Доктор технічних наук, професор Каплун В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав Костюк Г.В.
(підпис) (ПІБ студента)
Київ - 2021

ВСТУП	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
1 НОРМАТИВНІ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ	7
1.1 Аналіз основних положень стандарту ДСТУ ISO 50001:2020	7
1.1.2 Енергетична політика	11
1.1.3 Енергетичний аналіз	12
1.1.4 Показники енергоефективності	14
1.2 Опис енергетичного менеджменту	15
1.2.1 Надійність енергопостачання	17
1.2.3 Політика утворення та формування тарифів	18
1.2.5 Ефективність використання енергії та оптика зменшення викидів парникових газів	19
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ	22
2.1 Сучасні методи управління енергоефективністю локальних об'єктів з полігенерацією	22
2.2 Аналіз теорії побудови мікроенергетичних мереж локальних об'єктів	24
2.3 Принципи управління комбінованим електрозабезпеченням	27
2.4 Особливості функціонування локальних систем електроживлення з декількома джерелами	29
3 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ПРОГРАМНО – ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДИНАМІЧНОГО ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА	39
3.1 Огляд програмно-технічних комплексів, що використовуються для	39

управління енергоспоживанням.....	39
3.2 Вибір апаратної складової технічної платформи та зазначення їхніх характеристик.....	45
3.3 Обґрунтування вибору мікроконтролера Arduino MEGA2560 та його технічні характеристики.....	60
3.4 Програмне забезпечення для реалізації системи динамічного енергоменеджменту.....	68
3.4.1 Опис алгоритму роботи програми управління.....	71
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
Додаток 1.....	84

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В майбутньому споживання електроенергії буде здійснюватися за допомогою інформації, яка отримана з відповідних систем енергетичного менеджменту, котрі в свою чергу формують дані про споживання енергії в режимі реального часу. Тому розробка та впровадження систем енергетичного менеджменту є пріоритетним напрямком розвитку енергетики.

Незалежно від того, завод чи звичайний будинок, енергоспоживання та ефективність мають значний вплив на прибуток. Чим більше енергії споживають будівлі, тим вищими будуть рахунки за комунальні послуги. Коли справа доходить до ефективного управління енергією, на цьому шляху може стояти багато перешкод, від ручної звітності та високих адміністративних витрат до незрозумілих відмінностей у рахунках за комунальні послуги об'єктів.

Наявність програмного забезпечення для управління енергією з запрограмованим алгоритмом може допомогти запобігти несподіваним відхиленням в бюджеті підприємства чи домогосподарства. Алгоритм може створювати точні бюджети на основі прогнозування часу пікового навантаження, прогнозів ринку енергопостачання, власного споживання та тарифів на доставку.

Моніторинг даних у режимі реального часу передбачає наявність системи управління енергією. Щоденні (або щогодинні, або з 15-хвилинними інтервалами) дані лічильників надсилаються в систему управління енергією, яка надає:

- Огляд даних лічильників за відповідні інтервали, які можна переглянути за поточним днем, тижнем, роком або будь-яким вибраним періодом часу.
- Навести графік середнього щоденного споживання за останні 12 місяців з розбивкою за літніми, зимовими або місяцями міжсезоння.

НУБІП УКРАЇНИ

Ці функції гарантують, що щоденне споживання відповідає очікуванням (наприклад, менше у вихідні та святкові дні порівняно з робочими днями), і якщо це не так, будь-які аномалії легко помітити. Тепер, якщо виникає проблема, споживач зможе її негайно усунути.

НУБІП УКРАЇНИ

За допомогою програмного забезпечення для управління енергоспоживанням користувач буде в курсі годин пікового навантаження. І система енергоменеджменту надаватиме користувачу прогнозу аналітику, щоб попереджати, коли ймовірно настане час пікового навантаження,

НУБІП УКРАЇНИ

наприклад, під час роботи в найтепліші або найхолодніші дні року. Зараз, коли в країні пандемія коронавірусу, години пікового навантаження перемістилися з ранку на ранній і пізній вечір, а пікове навантаження зосереджено навколо житлових будинків (оскільки багато офісних будівель зараз в основному

НУБІП УКРАЇНИ

вільні). Програмне забезпечення для управління енергією може допомогти відстежувати, вимірювати та перевіряти ефективність управління піковим навантаженням, а також визначати неефективні області управління об'єктами, які витрачають енергію під час пікових навантажень.

Багато проблем, розглянутих вище, взаємопов'язані. Моніторинг даних

НУБІП УКРАЇНИ

у режимі реального часу може допомогти виявляти проблеми, які впливають на споживання енергії. Вимірювання та перевірка можуть бути важливими для реалізації проєктів ефективності, які визначаються як необхідні за допомогою

порівняльного аналізу. Всі рішення з управління енергією зосереджуються на використанні потужної платформи енергоменеджменту.

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП України

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СЕМ – система енергетичного менеджменту

ЛО – локальний об'єкт;

АСУ – автоматизована система управління;

КСЕ – комбінована система електроживлення;

СЦЕП – система централізованого електропостачання;

АСКОЕ – автоматизована система контролю, обліку та управління енерговикористанням;

ПП – пристрій перетворення;

ПРТ – постачальник за регульованим тарифом;

ПНТ – постачальник за нерегульованим тарифом;

ДП – державне підприємство;

ЕС – електроенергетична система;

ВІС – вимірювальна інформаційна система;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

ІС – інформаційна система;

МХ – метрологічна характеристика;

ПБД – первинна база даних;

ПО – пристрій обліку;

ВК – вимірювальний канал;

НУБІП України

НУБІП України

1 НОРМАТИВНІ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ.

1.1 Аналіз основних положень стандарту ДСТУ ISO 50001:2020

1.1.1 Загальна інформація про стандартизацію в сфері енергетичного менеджменту

При розгляді енергетичного менеджменту перш за все слід спиратися на стандарти та вимоги що регулюють цей напрям. Для даного напрямку це в першу чергу ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Завданням цього стандарту є створення систем та процесів для покращення енергоефективності, шляхом управління споживання енергії. Функції цього стандарту це встановлення певних вимог ще до систем енергетичного менеджменту (СЕНМ). Застосовується цей стандарт при проведенні процедур проектування та закупівель всього необхідного для СЕНМ. Впровадження та розробка СЕНМ включає в себе розробку енергополітики, постановки завдань та цілей, створення планів для подальшої діяльності у сфері енергоефективності.

Цей стандарт включає в себе вимоги до процесів які мають систематичний характер він керується з огляду на дані та факти, та спрямований на покращення енергетичної результативності. Енергетична результативність — ключовий елемент понять, введених у цей стандарт для отримання згодом результативних і вимірних результатів[1]. Енергетична результативність являється поняттям, що відноситься до енергетичної ефективності. Показники енергоефективності та базові рівні енергоспоживання — це елементи, що залежать один від одного, та застосовуються в даному стандарті для того, щоб організація змогла продемонструвати підвищення енергетичної результативності.

СЕНМ, яка описується цим стандартом, базується на принципі безперервного покращення «Плануй - Виконуй - Перевірйй - Дій» (Plan, Do,

Check and Act (PDCA).

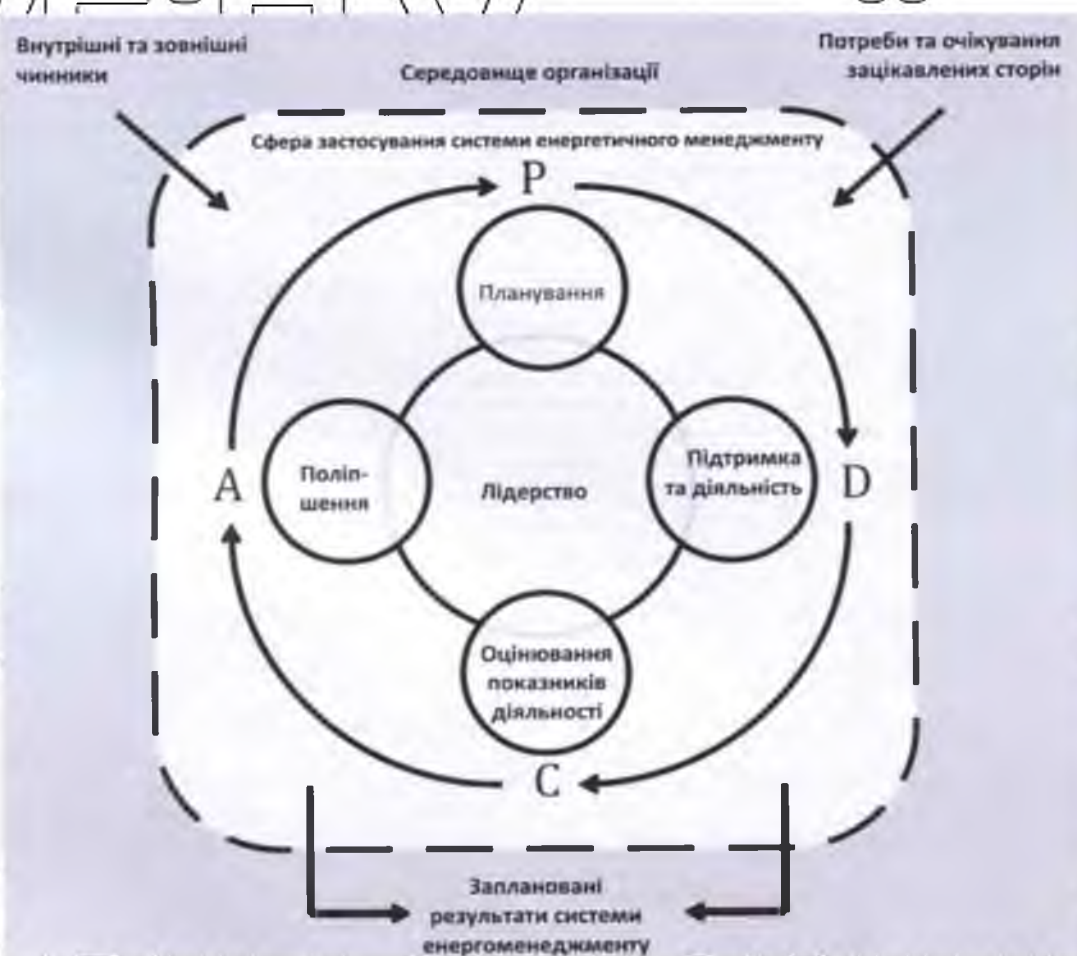


Рис 1.1.1 Цикл «Плануй — Виконуй — Перевірй — Дій» [1]

У плані енергетичного менеджменту застосування циклу PDCA буде представлено так:

- **Плануй:** потрібно зробити аналіз організації, визначити енергополітику та розподілити її на підгрупи енергоменеджменту, сформуєте ряд дій для реагування на ризики, також потрібен ґрунтовний енергетичний аналіз, визначити групу споживачів великої потужності і їхні показники енергоефективності, базові рівні споживання. Потім потрібно сформувані цілі і завдання та скласти план дії виконання якого поліпшить енергетичну результативність.

- **Виконуй:** до цієї частини входить реалізація спланованих дій, способи та методи спрямовані на підтримання безперервної

роботи інфраструктури, потрібно здійснювати комунікацію і підтримувати бажаний рівень компетентності.

- **Перевіряй:** цей пункт включає в себе безперервний моніторинг, аналіз, виміри та формування оцінки. Також важливою складовою є проведення аудиту енергетичної результативності.

- **Дій:** в першу чергу це здійснення дій спрямованих на нівелювання невідповідностей і покращення енергетичної результативності

Даний стандарт задовольняє вимоги ISO стандартів які висуваються до систем управління, включає в себе структури високого рівня, подібний

ключовий текст та розповсюджені терміни з детальним поясненням, що створює досить високу сумісність з рештою стандартів, а також системами управління.

Його можуть використовувати окремо або в той самий час організацією може бути прийняте рішення про об'єднання власної системи енергетичного менеджменту з системами управління чи провести інтеграцію в ці системи своєї СЕНМ для досягнення різного роду цілей.

Успішне застосування даного стандарту відкриває можливість до застосування системного підходу, що направлений на покращення

енергетичної результативності. Використання системи енергетичного менеджменту в абсолютно різних сферах приведе до значного покращення енергетичної результативності. В наслідок підвищення ефективності

використання енергетичних ресурсів, тим самим зменшення витрат на енергію можна значно підвищити конкурентоздатність підприємства на ринку за рахунок зменшення частки енергоресурсів в ціні товарів

Стандарт ISO 50001 формує вимоги до впровадження, розробки, підтримки робото здатності і покращення функціонування систем енергетичного менеджменту.

Цей стандарт розглядає дві теми водночас тому тут описано кроки для поліпшення енергетичної результативності, а також керування енергетичними ресурсами спираючись на систему енергоменеджменту. Для обґрунтування та

демонстрації покращення в споживанні енергії використовуються показники енергоефективності.

НУБІП України

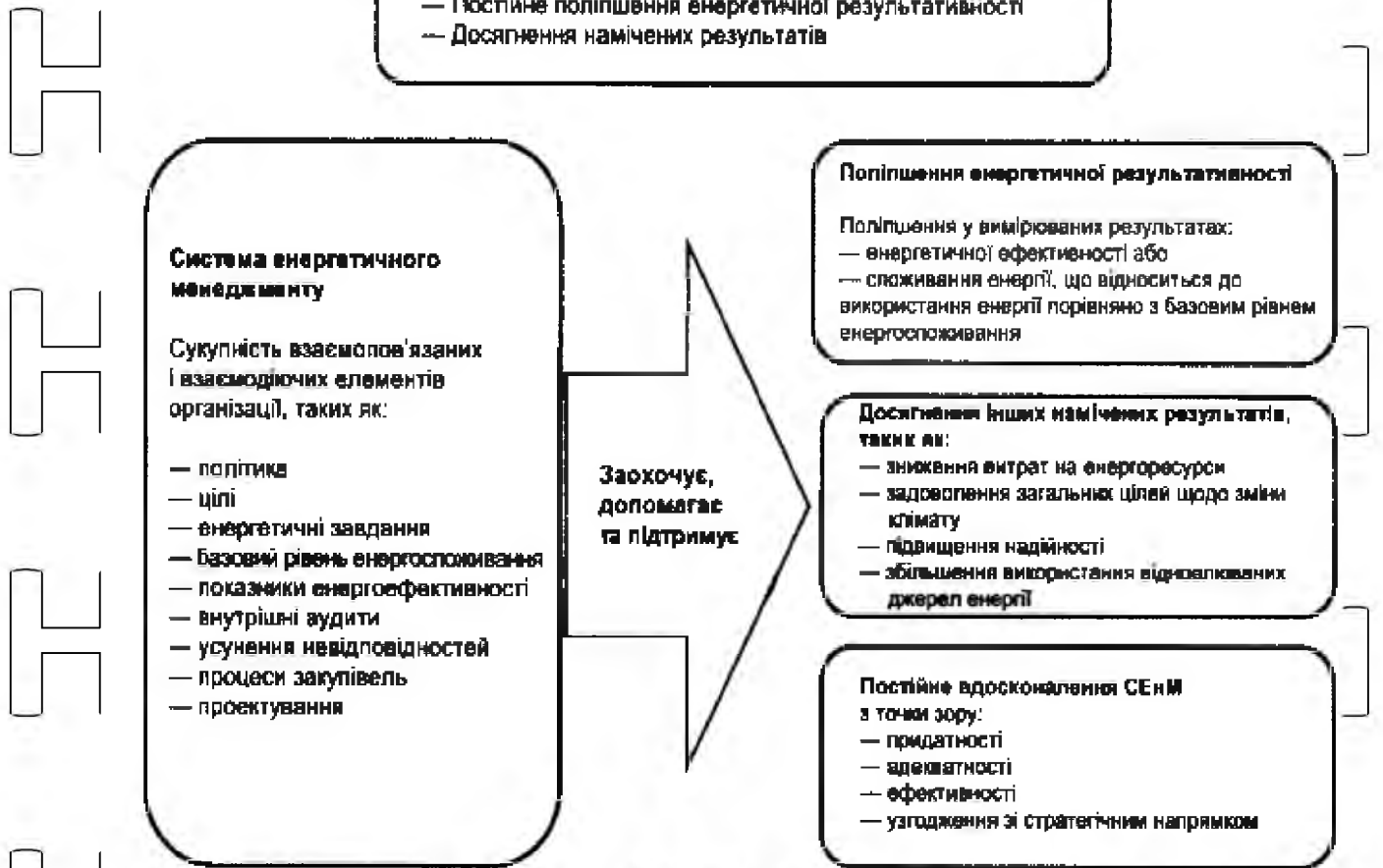


Рис 1.1.2 Взаємозв'язок між енергетичною результативністю та СЕММ [1]

Цей стандарт:

- Застосовується до різних організацій в незалежності від типу чи розміру.
- Його застосовують до діяльності яка має вплив на енергетичну результативність, якою управляє та контролює організація.
- Використання не залежить від кількості типу та напрямків використання енергії.
- Має потребу в демонстрації сталого покращення енергетичної результативності без встановлених рамок його підвищення.
- Може бути використаний як окремий документ чи узгоджуватися

або має можливість інтегрування з іншими системами менеджменту.

При впровадженні системи енергоменеджменту організація повинна визначити зовнішні та внутрішні чинники що відносяться до її планів та мають вплив на можливість досягнення певних результатів, що намічені системою енергоменеджменту також поліпшувати енергетичну результативність.

Організація повинна визначити:

- Сторони що відносяться та зацікавлені в енергетичній результативності системи енергоменеджменту.

- Встановлені вимоги для сторін що зацікавлені.

- На котрі з вимог і очікувань організація буде реагувати за допомогою системи енергоменеджменту.

Організація повинна мати в наявності контролюючі повноваження над кількістю використаної енергії і споживанням цієї енергії. Також потрібно провести розробку та впровадження системи енергоменеджменту охоплюючи ключові процеси та їх подальшу взаємодію.

1.1.2 Енергетична політика.

На енергетичну політику спираються при розробці СЕНМ, а організації на кожній із стадій планування, впровадження, функціонування, аналізу, порівняння даних та покращення функціонування системи.

Керівництво повинно визначити політику в енергетичному плані яка повинна відповідати таким критеріям:

- Потрібно щоб наміри організації співпадали з політикою.
- Також вона має охоплювати всі обов'язки щодо наявності даних та ресурсів, щоб в подальшому досягти намічених цілей.

- Енергетична політика повинна мати зобов'язання відповідності стану організації всім вимогам та законам.

- Включати в себе обов'язки по стабільному підвищенню енергетичної результативності.

сприяння проведенню закупівель товарів та послуг, що сприяють енергетичній результативності.

Політика має бути перш за все доступна для перегляду в вигляді задокументованої інформації. Бути широко розповсюджена всередині організації та постійно переглядатись із внесенням коректив відносно поточного становища.

1.1.3 Енергетичний аналіз

Це визначення та аналіз всіх типів енергії що використовується. При енергетичному аналізі формується статистика по використанню енергії і енергетичному управлінню. Також при енергетичному аналізі визначають групи споживачів які використовують більшу частину енергії. Оцінка споживання цих груп дозволяє поліпшити енергетичну результативність шляхом оптимізації витрат енергії. Такі групи можуть бути абсолютно різними залежно від потреб споживача наприклад це може бути склад, офіс, промислова будівля також це можуть бути якісь процеси або системи такі як освітлення, електроприводи, електроліз. Після групування споживачів енергії керування ними стає частиною СЕМ.

В системах енергетичного менеджменту проводиться оновлення енергетичного аналізу, яке включає в себе оновлення даних про споживання енергії і за потреби корективи груп енергоспоживання в разі суттєвих змін. Щоб володіти про одну чи більше частин системи проводять енергетичний аудит. Він може включати в себе ґрунтовний аналіз енергетичної результативності об'єкта. Основою для даних на які спирається енергетичний аудит є вимірювання енергетичної ефективності в конкретній сфері. Висновок енергетичного аудиту включає в себе дані про використання енергії та енергетичну результативність до яких додаються рекомендації щодо поліпшення енергетичної результативності. Для того щоб проаналізувати можливості для поліпшення ефективності використання енергії, потрібно розглянути якийсь конкретний процес та той обсяг енергії що

використовується для нього.

Для прикладу процеси хімічної галузі котрі не мають великих можливостей для зменшення енергетичних витрат в наслідок специфіки процесу, то обладнання володіє великим потенціалом для покращення енергетичної результативності.

Шляхом зміни процесів управління і корекції робочого графіка машини. Також шляхом для зниження витрат є зміна завантаженості виробництва.

Використання в живленні об'єкта відновлювальних джерел енергії в межах СЕНМ, не призводить до покращення енергетичної ефективності. Це

зменшить використання енергії від централізованої системи, але не покращить ефективність споживання енергії.

Застосування для живлення об'єкта енергії з відновлюваних джерел може покращити інший аспект, а саме вплив на навколишнє середовище тому що це значно зменшить використання енергії для виробництва якої було використано викопне паливо.

В деяких ситуаціях енергетичний аналіз може взяти до розгляду безпекові питання та сферу надійності постачання

Для успішного впровадження СЕНМ організація повинна підготувати та здійснити енергетичний аналіз. Зокрема проаналізувати як використовуються енергетичні ресурси та спираючись на результати проведеного аналізу та низки інших даних. А саме:

- спершу встановити які саме види енергії споживаються
- зробити оцінку та порівняння даних по споживанню енергії в минулому та станом на зараз
- виокремити групи основного споживання спираючись на дані аналізу об'єкта.
- сформувати значення енергетичної результативності.
- розглянути можливості щодо покращення.

1.1.4 Показники енергоефективності

Показники енергоефективності це сукупність вимірів котрі використовуються для порівняння енергетичної результативності.

Те на скільки попереднє значення відрізняється від поточного і є величина зміни в енергетичній результативності.



Рис 1.1.3 Показник енергоефективності та вимірне значення показника енергоефективності [1]

Для об'єкту потрібно визначити показники енергоефективності котрі являються загальноприйнятими для проведення моніторингу та здійснення підрахунку своєї енергетичної результативності створюють можливості для покращення енергетичної результативності

Метод встановлення та актуалізації показників енергоефективності має бути розроблений, упроваджений і підтримуватися в робочому стані в якості документованої інформації. У тих випадках, коли організація отримує інформацію, яка засвідчує, що визначені змінні мають значний вплив на енергетичну результативність, організація має розглянути таку інформацію для встановлення відповідних показників енергоефективності.

Значення отриманих показників потрібно проаналізувати та

зрівняти з базовим рівнем енергоспоживання. Споживач має фіксувати та зберігати задокументовану інформацію про показники енергоефективності.

1.2 Опис енергетичного менеджменту

Енергоменеджмент доцільно застосовувати абсолютно в усіх галузях та об'єктах де використовується енергія. Але найбільшу користь він принесе на підприємствах значно підвищивши економічну ефективність при виробництві будь якої продукції. На даний час ріст цін на енергетичні ресурси значною мірою впливає на частку енергії в ціні кінцевого продукту тож більш ефективного використання енергії.

Енергетичний менеджмент – це багаторівнева система, що включає в себе керування виробництвом і споживанням енергії. Однією з важливих частин енергоменеджменту є енергозбереження це практичний напрям що застосовує новітні технології та обладнання. Окрім цього енергоменеджменту включає в себе оцінку ефективності застосування в системі живлення відновлювальних джерел енергії, підготовку цінової політики. На рис 1.2.1 зображена схема багаторівневої структури енергоменеджменту [2].

При розгляді схеми стає зрозуміло що, станом на сьогоднішній день функціонування такого типу структури не включає в себе задачі що потрібно буде розв'язати при застосуванні комплексного підходу для забезпечення енергетичної безпеки держави.

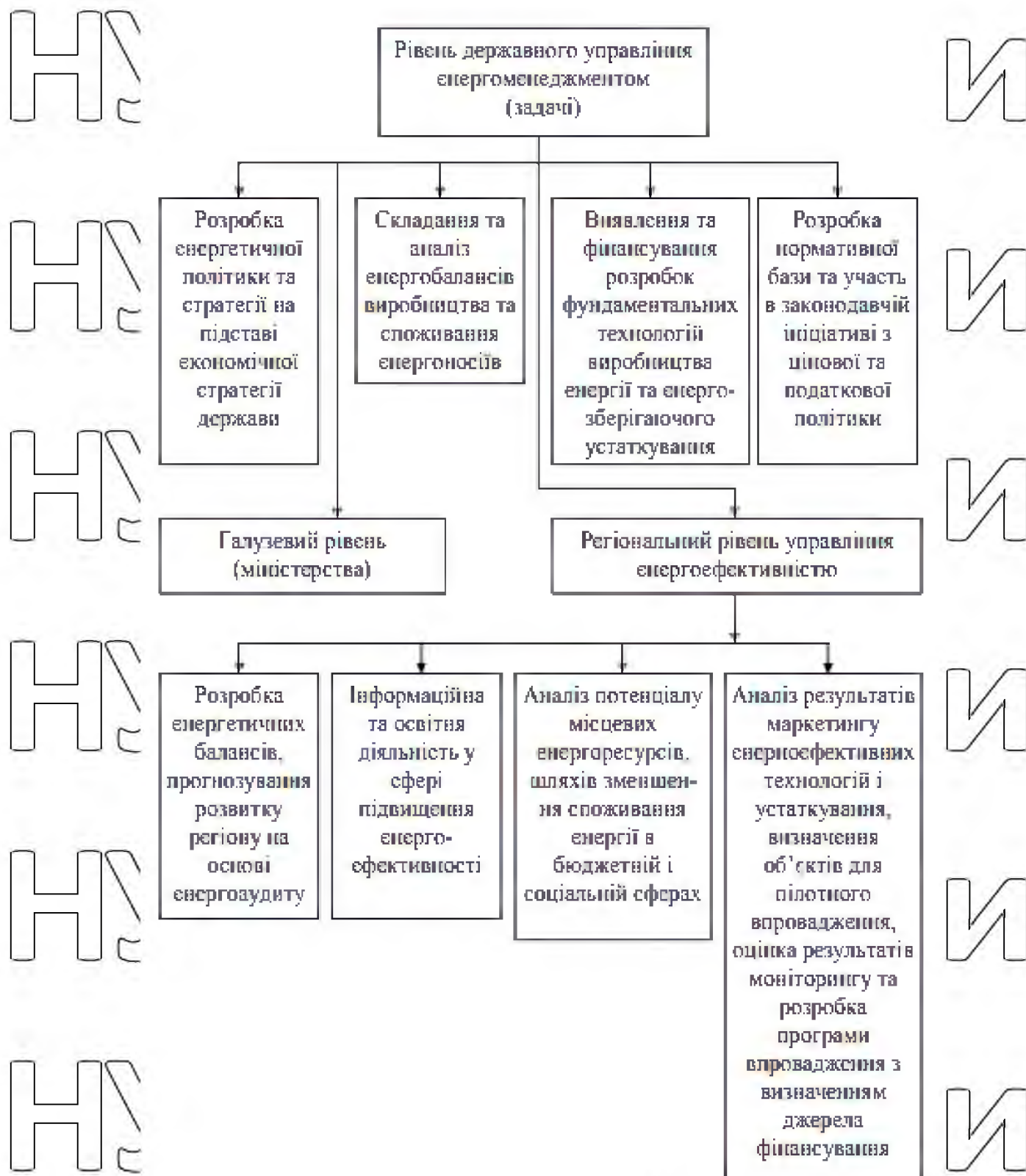


Рис. 1.2/1 Зображення схеми багаторівневої структури енергоменеджменту

[2].

В центрі даної системи розташований регіональний рівень перед яким стоїть основна задача – це задача по підвищенню енергоефективного використання енергії в бюджетній та соціальній сферах.

- Замикаюча ланка даної блок схеми – це відокремлені локальні об'єкти господарської сфери діяльності абсолютно різних форм власності.

• Тема енергозбереження розглядає важливі задачі такі як:

- надійність енергопостачання
- політику цін

• законодавство та нормативну базу

• ефективність використання енергії

• охорону довкілля

Лише продуктивне вирішення цих задач зможе гарантувати ефективне використання енергії.

1.2.1 Надійність енергопостачання

Для забезпечення надійності енергопостачання в енергетичному менеджменті є низка засобів таких як:

залучення як можна більшої кількості джерел енергії розташованих поблизу споживача

проведення політики заохочення щодо використання для виробітку енергії більшої кількості видів палива.

застосування в системах живлення джерел відновлюваної енергетики

На даний момент в нашій країні намагаються як можна швидше підвищити енергоефективність, що дасть змогу значно скоротити імпортоване паливо та знову ж таки підвищити надійність електропостачання.

НУВБІП УКРАЇНИ

1.2.3 Політика утворення та формування тарифів.

Політика цін включає в себе такі напрямки як:

ціни мають являти собою суму витрат, та утворення цін повинно бути

зрозумілим і прозорим

необхідно заохочувати конкуренцію та доступ третейої сторони до електромереж (можливість підключення до конкуруючих мереж або джерел енергії).

Зараз проводяться реформи в способах утворення цін на енергоносії для

більш точних розрахунків за спожиту енергію. В результаті реформ промислові споживачі будуть сплачувати за електроенергію по більш вигідних цінах.

Україна отримала в спадок систему норм та стандартів призначених для

контролю використання енергії у промисловості. Основна їх функція була в формуванні планування та управління центральним апаратом, а не в управлінні енергоспоживанням. У зв'язку з цим у 1995 році з метою

стимулювання ефективного використання енергії було створено Державний

комітет з енергозбереження України, створено Державну інспекцію з

енергозбереження та розроблено концепцію проведення енергетичного

аудиту. Вийшла постанова Кабінету Міністрів України про державну

експертизу в галузі енергозбереження та ухвалено закон про

енергозбереження, який дозволить значно ефективніше втілювати політику

енергозбереження в Україні. У той же час станом на зараз немає багато

інформації про світовий рівень стандартів енергоспоживання та питомі

енергетичні витрати на виробництво. Це являється одним із основних

критеріїв та гарним посібником для того щоб оцінити якість проведених

заходів з енергозбереження. Крім того, немає комплексного державного

підходу до проблеми енергоефективності, що є однією з перешкод на шляху

вирішення проблеми енергозбереження. Розробка енергетичних паспортів

могла б принести значну користь, але інформація від компанії не аналізується і не є джерелом для прогнозування та управління виробництвом та споживанням енергії. Враховуючи, що економічний та енергетичний потенціали регіонів України є різними, ефективним кроком є перенесення основної практичної діяльності у галузі енергозбереження на регіональний рівень. Для цього необхідно створити прозору та зрозумілу структуру для фінансування таких заходів регіонального рівня. Законодавчу базу для заснування фондів нацлених на фінансування проектів з енергозбереження.

Для проведення результативної роботи в галузі енергозбереження на регіональному рівні необхідне створення служби енергоменеджменту на регіональному рівні, що є одним із завдань стратегії енергозбереження.

1.2.5 Ефективність використання енергії та оцінка зменшення викидів парникових газів

Для збільшення частки управління в енергозбереженні, котре в свою чергу являється одним з головних напрямків в стратегічних діях держави в економіці, для цього мають бути затверджено низку заходів які направлені на зміну моделі державного управління, а саме:

законодавчо закріпити обов'язкове проведення енергоаудиту для підприємств і організацій бюджетної сфери та ЖКГ;

на законодавчому рівні ввести зміни в систему оподаткування для забезпечення компенсації затрат на енергозберігаючі заходи;

переглянути пріоритети в питаннях енергозбереження (змістивши їх ближче до регіонального рівня, що призведе до залучення локальних ресурсів розмежувати регіональні та державні структури, що відповідають за енергозбереження, з структурами що займаються розвитком ПЕК, бо ці дві структури мають різні цілі для інвестицій.

основною частиною при складанні планів перспективного розвитку має бути енергоаудит на будь-якому рівні.

Є потреба в створенні бази даних для застосування нових видів обладнання яке є більш ефективним, а також для прогресивних питомих норм затрат енергоносіїв для всіх видів продукції.

Основну увагу варто сконцентрувати на найбільш енергоємних галузях економіки таких як металургія, хімічна галузь та нафто - газодобувній галузям.

Зростання ефективного застосування спожитої енергії також матиме суттєвий вплив на підвищення надійності постачання, зменшення шкідливих викидів і скорочення витрат на закупівля палива.

Ефективність використання енергії може бути підвищена в наслідок застосування конкретних програм. Зокрема це перегляд законодавчої бази та фінансування програм з енергозбереження шляхом субсидій. Вкладення коштів в підвищення енергозбереження є більш вигідним та перспективним в порівнянні з залученням більших паливних ресурсів оскільки по перше вони

закінчуються а по друге дорого вартісні., тому політика надання таких стимулів, як податкові пільги та позика під низький відсоток на виконання заходів направлених на енергозбереження адміністраціями всіх рівнів повинна виконуватися, тому що це має значний ефект не лише в енергетичному плані а також в економічному. При цьому необхідно пам'ятати, що інвестиції – це

найважливіший чинник розв'язання проблем енергозбереження. Вони потребують розробки законодавчої бази, яка би сприяла інвестуванню в енергозбереження та страхуванню ризиків із пріоритетом заходів, які направлені на використання нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії.

Це є стратегічною задачею з енергозбереження. До основних напрямів енергозбереження відносяться: – вивчення і аналіз потреб регіону в енергоносіях залежно від економічної стратегії його розвитку;

- створення інформаційної баз енергозберігаючих технологій і устаткування;
- проведення маркетингу в сфері енерго- та ресурсозбереження;
- вивчення потенціалу місцевих традиційних, альтернативних і нетрадиційних джерел енергії та можливостей їх використання;

НУБІП України

- розробка бізнес-планів для впровадження енергозберігаючих заходів;
- розробка регіональних Програм енергозбереження та структури управління енергоефективністю з урахуванням фінансових витрат, механізму залучення коштів і їх компенсації за результатами економічної ефективності;

НУБІП України

- проведення енергетичних аудитів на замовлення підприємств і організацій;
- впровадження розробок наукових і навчальних закладів які направлені на підвищення енергоефективності, із залученням спеціалістів вище згаданих організацій.

НУБІП України

Має включати в себе низку заходів таких як, постійно контролювати і

намагатись як можна більше зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу таких як CO₂, N_xO_y, SO_x. Ціни на енергетичні ресурси мають

НУБІП України

включати в себе більш вагомую частку яка витрачається на охорону довкілля.

Безпека атомного сектору повинна бути головним напрямом в області енергетики. В середовищі відкритого ринку присутнє зменшення енергоємності, бо споживання енергії залежить від фінансової складової. З

НУБІП України

кожним роком на підприємствах змінюється обладнання. В нашій країні ситуація з цим складніша і на шляху до енергозбереження є цілий ряд перешкод.

НУБІП України

НУБІП України

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

2.1 Сучасні методи управління енергоефективністю локальних об'єктів з полігенерацією

Сутністю принципів, що лежать в основі методології побудови КСЕ у широкому сенсі є комплекс теоретично обґрунтованих процедур, який направлений на організацію досліджень з метою забезпечення як об'єктивно нового, так і суб'єктивно нового результату. Організувати і забезпечувати функціонування системи (тобто будувати систему за розробленими принципами) означає упорядковувати її цілісність за чітко визначеними характеристиками, логічною структурою та можливими шляхами її реалізації[21].

Діяльність в інноваційному напрямку вимагає належної організації, а отже, використання нових методологічних принципів[3-6].



Рис.2.1.1 Структурна схема організації КСЕ

Загальне поняття та визначення «організації» (рис.2.1.1) спирається на структуру методології з достовірно сформованими характеристиками

діяльності, логічною структурою, та процесом її здійснення – часовою структурою (фази, етапи діяльності).

Об'єкти різного характеру розглядаються в вигляді масштабної системи, а розгляд базується на застосуванні чітко визначених методологічних підходів

[7]. Відносно КСЕ всі поставлені вимоги концентруються на представленні

такої системи в просторі станів, та великої кількості часових точок, в котрих змодельована їх поведінка, що задовольняє властивості цілісності (властивості системи не повинні зводитися до суми властивостей її окремих елементів та

частин), присутність досить розгалуженої ієрархічної структури за допомогою

котрої взаємодіють елементи системи (зокрема і системи управління та автоматизації, як підсистеми КСЕ), та досить тісній взаємодії з навколишнім середовищем.

Можна розглядати системи КСЕ під виглядом досить масштабних

систем ґрунтуючись на тому що:

- Такого роду системи включають в себе розвинену ієрархічну структуру (джерело і приймач первинної енергії, що безпосередньо генерує електроенергію, управління і обслуговування системи, зокрема автоматика) [8].

- Властивості систем генерування, та перетворення електроенергії, які принципово відносяться до класу нелінійних систем з розподіленими параметрами, не являються простою сумою властивостей окремих елементів [6];

- За принципом своєї роботи КСЕ є системами відкритого типу, схильними до сильного впливу системи вищого рівня та навколишнього середовища. Все це дозволяє зробити висновок про можливість застосування теорії великих систем для дослідження КСЕ.

Принципи побудови КСЕ, що розглядаються у межах даної роботи, засновані на системному аналізі функціонування системи централізованого

електропостачання (СЦЕП) та вимог споживачів ЛО, розробці теоретичних передумов організації структур автономних систем і алгоритмів їх функціонування. Такий методологічний підхід дає змогу розчленувати загальне завдання на послідовний ряд менш об'ємних завдань і шляхом синтезу, за обраними критеріями, дати відповідь на основне питання всієї проблеми [9,6].

Проблеми побудови та розвитку КСЕ обумовлені причинами наукового, технічного та організаційного характеру. Основна причина наукового характеру пов'язана з тим, що на даний час відсутні універсальні підходи та принципи побудови КСЕ з гнучкими зв'язками між елементами її структури, що включають різноманітні джерела, електромагнітні пристрої перетворення електроенергії і ін. Узагальнення та обґрунтування теоретичних засад принципів побудови КСЕ дасть змогу дослідити характер взаємозв'язків між її структурними елементами у різних режимах та алгоритмах функціонування.

Існує нагальна необхідність розробки математичних моделей, які дозволять дослідити процеси функціонування (усталені та перехідні) в двох основних режимах функціонування КСЕ: від СЦЕП та від джерел електроенергії, обраних для електрозабезпечення ЛО.

Кінцевою метою вирішення проблеми побудови КСЕ ЛО є визначення оптимального поєднання різних способів перетворення первинної енергії у електричну, фізичних властивостей елементів різноманітних джерел, алгоритмів їх функціонування для забезпечення належних рівнів як надійності та ефективності зокрема, так і якості електроживлення загалом.

2.2 Аналіз теорії побудови мікроенергетичних мереж локальних об'єктів

Методи дослідження КСЕ як великих систем, за аналогією з [10], можна розділити на такі основні групи: декомпозиції та композиції при побудові ієрархічного опису моделей, вибір критеріїв якості системи та принципів оптимізації. Вибрані області настільки глибоко пов'язані між собою, що,

можливо, доцільніше говорити не про напрямки дослідження, а про порядок кроків у загальному вивченні КСЕ.

Традиційний спосіб побудови автономних енергосистем – це спосіб формулювання вимог споживача електричної енергії до агрегування модулів електростанції з визначеними параметрами, що дають змогу вирішити

поставлене завдання. З цією обставиною пов'язано існування першого і найважливішого методу дослідження та математичного опису автономних енергосистем – фізичного методу опису. Використання цього методу

насправді не враховує різницю між вивченням та описом фізичних явищ, що

лежать в основі процесу генерування або перетворення енергії, і власне споживачем електричної енергії, який разом з мережею, комутаційними блоками, розподільними мережами, системами автоматизації і формує

автономну систему електропостачання.

Автономні джерела енергії виробляють електроенергію за допомогою різних фізичних явищ. Відзначимо суттєву складність опису автономних енергетичних систем, побудованих на гетерогенних джерелах. Це пояснюється тим, що фізичні процеси, що відбуваються у вибраних джерелах, визначаються великою кількістю змінних.

Обмежені можливості методу фізичного опису в останні роки привели до появи іншого методу, який слід назвати прикладним або електричним.

Повна відмова від спроб оцінки фізичних процесів, введення певних «універсальних» параметрів, що зводять КСЕ, як правило, до простої електричної схеми з відомими законами та умовами – ось основні підходи до цього методу.

Здавалося, що цей метод у своєму подальшому розвитку вирішить проблему опису та оптимізації КСЕ. Проте з аналізу [11] є зрозуміло, що основні обмеження цього методу практично надають йому дуже вузьку

область застосування в сучасних складних незалежних енергетичних системах. Проблема полягає в тому, щоб вибрати і визначити в методи «універсальні» параметри. Можна сказати, що правильний вибір і

експериментальне визначення цих параметрів - завдання, за складністю, схоже на вихідне.

Широкі можливості ефективного вирішення завдань створення оптимальних методів дослідження для проектування та функціонування КСЕ відкриваються з використанням методів і засобів математичного моделювання. Розробка методів проектування та дослідження режимів роботи автономних енергосистем виключно на основі застосування фізичного моделювання потребуватиме сильного розширення та поглиблення експериментальної роботи. При цьому генераторні електростанції мають важливі індивідуальні властивості, а створення існуючих моделей потребує значних матеріальних витрат.

У зв'язку з цим, разом з розвитком фізичного моделювання для дослідження КСЕ, все ширше використовується метод математичного моделювання з використанням сучасних комп'ютерних технологій. У математичному моделюванні можна відносно легко модифікувати параметри окремих елементів і визначити вплив цих змін на перші параметри КСЕ. Метод математичного моделювання є менш трудомістким і недорогим інструментом для вивчення автономних електростанцій. На етапі проектування це дозволяє

не тільки з необхідною точністю розрахувати властивості електростанції як нелінійного об'єкта при роботі на будь-якому зовнішньому навантаженні, а й визначити найбільш відповідну програму фізичного моделювання. Метод математичного моделювання слід розглядати як ефективний метод дослідження та автономних електростанцій, який доповнює та розширює можливості фізичного моделювання.

Застосування існуючих математичних моделей [6,12,13] для дослідження систем перетворення енергії різного походження в електроенергію не відповідає вимогам аналізу систем., оскільки математичні моделі не пов'язані між собою відповідно до реальної ієрархії підсистем та структури взаємодій між ними в КСЕ. Методи розв'язання, як і математичні моделі, в основному розробляються без урахування інформаційного аспекту,

наприклад, без достатнього аналізу впливу тих чи інших існуючих критеріїв і факторів на надійність і ефективність такої установки.

Затримка рівня розвитку математичного моделювання автономних енергетичних систем у порівнянні з моделюванням стаціонарної енергії пояснюється порівняльною «новизною» досліджуваної проблеми (широке обговорення цих проблем у наукових колах почалося наприкінці 90-х років минулого століття).

2.3 Принципи управління комбінованим електрозабезпеченням

В загальному випадку КСЕ є складним електроенергетичним комплексом, що містить декілька різнорідних джерел електроенергії, як змінного, так і постійного струму, перетворювачі та накопичувачі електроенергії, системи контролю, захист і систему автоматизованого управління. Наявність в КСЕ декількох різнорідних джерел електроенергії дає можливість забезпечувати безперервне електроживлення споживачів ЛО.

Особливої уваги вимагає питання забезпечення вимог якості електроенергії для категорій споживачів ЛО, визначених користувачем.

Засоби для забезпечення необхідних показників якості електроенергії можуть бути використані у системі електроживлення для кожного з запропонованих категорій споживачів.

Структурна класифікація споживачів електроенергії передбачає формулювання конкретних вимог до функціональних властивостей КСЕ та оцінювання економічних показників щодо створення і експлуатації КСЕ, а саме:

1. Провести поділ споживачів електроенергії з точки зору забезпечення неперервного електроживлення, обґрунтувати належність кожного обраного споживача (групи споживачів) до певної групи та категорії за вимогами надійності електроживлення. Для конкретизації завдання необхідно провести дослідження:

сезонних режимів електроспоживання;

• визначити допустимі тривалості перерв у електроживленні з урахуванням характеру та рівня збитків внаслідок перерв електроживлення на обраному об'єкті;

- враховуючи статистичні дані, що характеризують систему централізованого електропостачання, сформулювати вимоги до автономної системи електроживлення як підсистеми СНЕП з метою забезпечення необхідного рівня функціональної надійності автономної системи електроживлення для вказаних споживачів.

2. Обґрунтувати та визначити детерміновані рівні щодо якості

електроенергії для обраних груп споживачів наступними заходами:

- введенням додаткових апаратів та обладнання (фільтрів, стабілізаторів, зарядних пристроїв та ДБЖ з покращеними характеристиками) до структури КСЕ як реалізація підсистеми

якісного електроживлення;

- конструктивними рішеннями для забезпечення більш високого рівня технічної досконалості як джерел електроенергії (перевантажувальна здатність, більш високий рівень форсувальної здатності електрогенераторів і ін.), так і іншого обладнання, що

входить до складу КСЕ: система автоматизації з використанням програмованих мікроконтролерів, дистанційно керованих комутаційних апаратів і ін.;

- узгодженням режимів роботи споживачів електроенергії ЛО, що працюють у складі КСЕ;

3. Обґрунтувати та провести аналіз рівнів надійності (показників надійності) КСЕ для обраних груп споживачів виходячи з наступного:

оптимального розподілу попиту електроенергії струмоприймачів різних

категорій серед наявних джерел електроенергії КСЕ;

аналізу економічних показників варіантів реалізації КСЕ шляхом введення головного критерію оптимізації собівартості електроенергії КСЕ

при однакових, наперед, заданих інших показниках системи, а саме: $K_{я}$ – коефіцієнт зростання приведених витрат для забезпечення заданого рівня якості електроенергії для m -го споживача; $K_{нКСЕ}$ – коефіцієнт надійності структури КСЕ з i -тим джерелом; об'єм генерації електроенергії w_i i -м джерелом для m -го споживача.

2.4 Особливості функціонування локальних систем електроживлення з декількома джерелами

Запропонована КСЕ повинна відповідати заданому значенню та характеру зовнішнього навантаження з урахуванням ряду обмежень, що впливають із конкретного призначення локальної установки. Як зазначалося вище, характерні критерії можуть бути обрані по-різному залежно від конкретного призначення об'єкта, а саме: якість, надійність, енергетичні та економічні показники [14,15].

Постановка задачі оптимізації пов'язана з введенням характеристичних критеріїв: тобто функціональних або цільових функцій, екстремуми яких відповідають винятковому стану, найбільш сприятливому з точки зору споживача, статусу системи.

Найпростішим варіантом вирішення оптимізаційної задачі є можливість досягнення складного характеристичного критерію, який поєднуватиме ознаки різної природи та фізичної значущості. У цьому випадку оптимальними параметрами підсистем будемо називати параметри, які будуть задовольняти екстремум єдиного функціоналу – комплексного характеристичного критерію.

Правильніше враховувати критерій якості для всього об'єкта, куди КСЕ входить як частина. При такому підході виходить, що КСЕ перестає бути простою системою критеріїв. Іншими словами, може бути кілька варіантів створення КСЕ, який відповідає загальній стратегії оптимізації загалом для ЛО. Але серед перешкод є так звана зона невизначеності рішення, в межах якої

похибка оцінки альтернатив у крайній точці функції може бути того ж порядку величини, що й похибка, визначена вихідною інформацією.

Вихід із цієї ситуації, очевидно, можна знайти, запровадивши ієрархію вибраних ознак характерних критеріїв. З математичної точки зору ця інтуїтивна гіпотеза може означати введення ефективного критерію якості, побудованого як сума критеріїв з певними ваговими коефіцієнтами, або узгоджене уточнення рішення шляхом застосування певної кількості критеріїв, якщо вони не конфліктують. Крім природної складності, пов'язаної з правильним вибором критеріїв якості, вирішення оптимізаційної задачі стикається з ще однією принциповою складністю.

Ідеологія застосування методу декомпозиції, коли мова йде про постановку задачі оптимізації, вимагає, щоб оптимізація, з одного боку, виконувалася тільки в межах цього рівня, а з іншого боку – умови оптимізації нижнього рівня декомпозиції повинні бути пов'язані з рештою умов. У рамках методу декомпозиції цю складність в принципі неможливо усунути, і для вирішення проблеми необхідно шукати нові підходи.

Найважливішим економічним критерієм для агрегату або системи є загальна вартість, яка пов'язана з витратами та експлуатацією обладнання, а також витратами на одиницю енергії (енергії). При багатопараметричній оптимізації обладнання використовуються узагальнені критерії, наприклад адитивні типи:

$$\Theta = k_1 v_1 + k_2 v_2 + k_3 v_3 + \dots, \quad (2.4.1)$$

де v_1 , v_2 , v_3 – критерії, що характеризують окремі показники обладнання (вартість, імовірність відмови Q , показники якості і т.п.), а коефіцієнти значущості k_1 , k_2 , k_3 визначають рівень впливу окремих критеріїв. Мінімізація Θ забезпечується за рахунок всіх v_i ($i=1,2, \dots$), однак вибір k_i , як правило не являється однозначно обґрунтованим і спирається на суб'єктивні фактори (в тому числі і при використанні експертних оцінок). В принципі, всі v_i залежать одне від одного, однак встановлення таких залежностей можливо лише при конкретних реалізаціях [16].

Задача оптимізації КСЕ носить багатокритеріальний характер і може являти собою занадто громіздку процедуру.

Найпростіший підхід — оптимізувати систему за критерієм (вартість, надійність, автономний робочий час тощо), враховуючи, що інші фіксовані.

Точні результати можна отримати, використовуючи метод компромісів або послідовних поступок.

Основними положеннями цього методу є фіксація всіх критеріїв, крім оптимізованого ($v_1 \rightarrow v_1 \min$). Далі визначається крок - допустиме відхилення

v_1 хв знаходиться в заданих межах і становить $v_2 \min$. Тоді допустиме

відхилення від $v_2 \min$, що становить $v_3 \min$ і т. д. Найкращі результати, звичайно, дасть оптимізація за критерієм Θ з пошуком характерних значень v_i .

Загалом доцільно оптимізувати КСЕ як на локальному, так і на системному рівні. Перший пов'язаний з удосконаленням окремих елементів,

другий – із синтезом оптимальних структур КСЕ в цілому. Ці рівні пов'язані

між собою і передбачають корекцію показників і варіантів схем як окремих елементів або підсистем, так і всієї системи з ітеративними підходами оптимальних рішень.

Виходячи з аналізу наведеного вище матеріалу, безумовно, питання

визначення найважливіших характеристичних критеріїв зводиться до експертних оцінок та їх вибору з набору всіх можливих критеріїв, що характеризують КСЕ.

Проведений аналіз та результати досліджень [17,18,19] дають підстави

визначити множину характеристичних критеріїв, до якої включено:

- сумарні витрати на реалізацію КСЕ та забезпечення її функціонування;
- якість електроенергії;
- надійність електроживлення;
- питома собівартість електроенергії КСЕ;
- розрахунковий час роботи джерел із заданою імовірністю;
- показники ефективності функціонування.

Наступним кроком є побудова цільової функції дослідження

оптимальної структури та алгоритмів функціонування КСЕ, яка у загальному випадку може мати вигляд:

$$\left(\sum z_{\varphi} + \sum z_{Я}^{OEP} + \sum z_{H}^{OEP} + \sum z_{Cб}^{OEP} + \sum z_{Tp}^{OEP} \right) \times K_{\varphi; Я; H; Cб; Tp} \Rightarrow \min \quad (2.4.2)$$

де $z_{i, j}^{OEP}$ - витрати на реалізацію і-го варіанту КСЕ за функціональними ознаками і обраним варіантом технічного рішення та витрати у вигляді опосередкованих економічних показників, тобто витрат на задоволення і-го критерію відповідно;

$z_{\varphi} \in \{\varphi\}$ - належить множині реалізацій КСЕ за функціональними ознаками та обраними варіантами технічних рішень;

$z_{Я} \in \{j\}$ - належить множині реалізацій КСЕ за функціональними ознаками, що характеризують якість електроенергії та обрані варіанти технічних рішень;

$z_{H} \in \{n\}$ - належить множині реалізацій КСЕ за функціональними ознаками, що характеризують надійність (безперервність) електроживлення та обрані варіанти технічних рішень;

$z_{Cб} \in \{e\}$ - належить множині реалізацій КСЕ за функціональними ознаками, що характеризують енергетичні показники КСЕ та собівартість електроенергії і обрані варіанти технічних рішень;

$z_{Tp} \in \{t\}$ - належить множині реалізацій КСЕ за функціональними ознаками, що характеризують розрахунковий час автономної роботи з заданою імовірністю та обрані варіанти технічних рішень;

$K_{\varphi; Я; H; Cб; Tp}$ - і-та складова значущості прийнятого характеристичного критерію.

Застосування методу декомпозиції дозволяє зв'язати основні етапи фізичного і математичного моделювання КСЕ. Так, етапу фізичного моделювання, що відповідає дослідженню фізики перетворення, відповідають

четвертий і третій рівні декомпозиції, етапу об'єднання одиничних елементів в модулі і генератори — другий рівень декомпозиції, етапу ресурсних оцінок і експлуатації — перший рівень декомпозиції.

Більш ефективним видається метод, заснований на розробці імітаційних моделей [17]. Суть моделювання полягає в тому, що стратегія оптимізації визначається експертами, а всі обчислювальні задачі, пов'язані з визначенням наслідків рішень, вирішуються за допомогою чисельного моделювання. Порівняння результатів стратегії знову проводиться за допомогою оцінок.

Імітаційні моделі – це потужний спосіб поєднати можливості комп'ютерної техніки та експертів. За цих умов очевидна перевага запропонованої методології побудови математичних моделей КСЕ, а це означає, що загальну задачу створення оптимальної КСЕ можна розбити на ряд менших завдань і шляхом пошуку імітаційних моделей відповісти вихідним. питання про всю проблему.

Імітаційні моделі забезпечують дослідження на кожному рівні декомпозиції, щоб знайти основні фактори, що визначають оптимальну функцію об'єкта. У цьому випадку особливу роль у дослідженні КСЕ відіграє врахування неповноти вихідної інформації, тобто врахування основної неповноти інформації про властивості системи та зовнішні умови за умов яких працює КСЕ.

Можна стверджувати, що всі задачі автономних електричних систем належать до класу частково невизначених задач, тобто до класу таких задач, де є випадкові величини з частково відомими законами розподілу. Перші відомості при вивченні КСЕ практично поділяють на зовнішню і внутрішню. Під зовнішніми ресурсами інформація про завдання КСЕ в частині взаємодії з централізованою системою електропостачання. Основну частину, принаймні на нинішньому рівні аналізу, у зовнішній інформації становить інформація про якість та надійність централізованого електропостачання та про споживачів, на яких буде працювати КСЕ. Внутрішня інформація відноситься до опису внутрішнього стану КСЕ. Як зазначено у визначенні, залежно від рівня

деградації в поняття внутрішньої інформації необхідно вкладати різні специфічні значення. Йдеться про те, що всі властивості внутрішніх станів, зокрема відомості про склад джерел і характер обвинувачення, мають бути описані неповною вихідною інформацією або в імовірній формі.

Принципи побудови оптимального КСЕ включають найважливіші технологічні, евристичні та математичні положення теорії пошуку оптимальних рішень [10,14]. Синтез КСЕ – це процес створення варіантів структури на основі функціональних властивостей елементів для забезпечення виконання технічних вимог і алгоритмів, заданих для роботи досліджуваної системи. Коли справа доходить до визначення найкращої, у певному сенсі, структури та алгоритму роботи КСЕ, синтез буде називатися оптимізацією. Враховуючи специфіку роботи та елементи, особливо джерела енергії, будемо використовувати для оптимізації принципи КСЕ, сутність яких розкрита в [10].

Основною метою реалізації принципів побудови КСЕ є створення її оптимальної структури, за певними критеріями (рис. 2.4.1) та алгоритмів роботи, які залежно від вимог обраних споживачів забезпечать надійність і ефективність автономного електропостачання.

Використовуючи результати аналізу та підходи [10,14], задачу структурно-функціональної оптимізації КСЕ пропонується розв'язувати в чотири етапи, як показано на (рис.2.4.1).

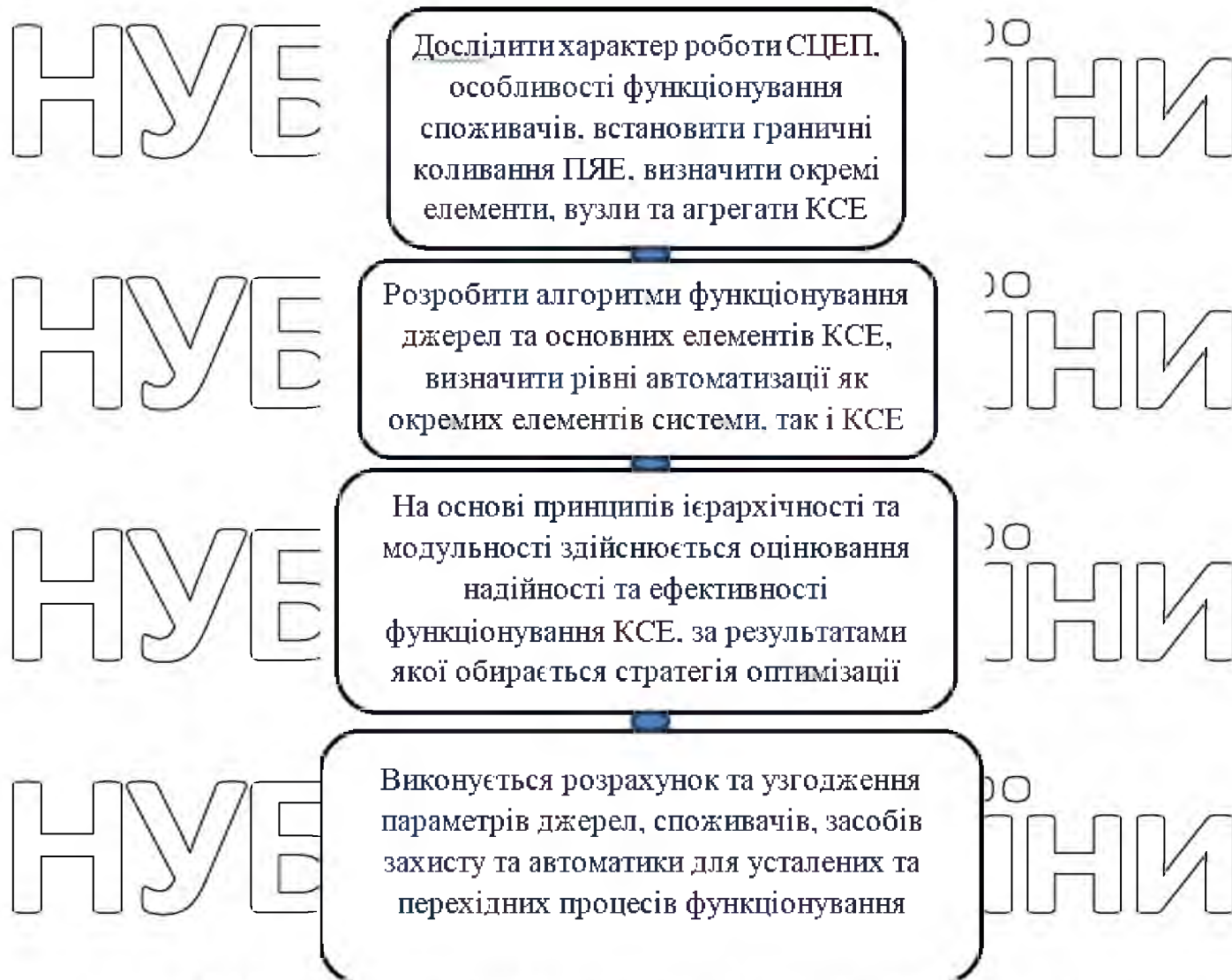


Рис. 2.4.1 Етапи структурно-функціональної оптимізації КСЕ з різномірними джерелами

На першому етапі необхідно дослідити характер роботи СЦЕП, граничні коливання показників якості електроенергії, окремі елементи, вузли та агрегати КСЕ, особливості функціонування струмоприймачів ЛО. При цьому формується узагальнена структурна схема системи, яка являється надлишковою і включає в себе всі можливі варіанти конкретних схем КСЕ. На цій стадії формуються основні концепції побудови КСЕ, створюються математичні моделі її елементів, проводяться експерименти для перевірки адекватності концепції математичних моделей та математичної моделі функціонування КСЕ загалом.

На другому етапі створення КСЕ розробляються алгоритми

функціонування, рівні автоматизації як окремих елементів системи, так і структурної будови загалом.

На третьому етапі, на основі принципів ієрархічності та модульності, здійснюється оцінка надійності та ефективності функціонування КСЕ, за результатами якої проводиться параметрична оптимізація. Передбачається, що параметри елементів КСЕ та варіація навантажень споживача може змінюватись в залежності від режимів роботи КСЕ.

На четвертому етапі у відповідності до запропонованої методики виконується розрахунок параметрів для ustalених та перехідних процесів функціонування. Наявність двох взаємозалежних режимів функціонування КСЕ (автономного від власних джерел електроенергії та відбору необхідної кількості електроенергії від СЦЕП) лежить в основі розгляду особливостей роботи КСЕ у порівнянні зі СЦЕП.

Режим електроживлення від СЦЕП є основним і характеризується:

- невідповідністю показників якості електроенергії централізованої енергосистеми вимогам струмоприймачів, що належать до складу КСЕ;
- недостатньою надійністю електроживлення споживачів з боку СЦЕП та тривалістю перерв у електроживленні від відновлюваних джерел.

До особливостей системи автономного електроживлення в режимі функціонування від власних джерел належить:

- сумірність потужностей джерел та струмоприймачів;
- обмежені можливості маневру встановленою потужністю та акумулювання електроенергії;
- різко змінювані добові та сезонні графіки навантаження струмоприймачів ЛО;
- наявність струмоприймачів з різними вимогами до безперервності та якості електроенергії.

Рішенням задачі структурно-функціональної оптимізації при побудові КСЕ будемо вважати формалізоване відображення можливих функціонально-необхідних структурних організацій КСЕ (при заданих функціональних

параметрах та обраній агрегатній базі) за обраними характеристичними критеріями з подальшим її аналізом.

Узагальнення, зроблені на основі обґрунтувань принципів та прийомів структурно-функціональної оптимізації, дали змогу розробити алгоритм побудови АСЕ, який представлено на (рис.2.4.2).

У загальному випадку структурно-функціональна оптимізація КСЕ здійснюється машинними методами на основі обраного кінцевого числа правил функціональної організації (структури) та детермінованих властивостей (алгоритмів функціонування різномірних джерел) шляхом визначення:

- множини струмоприймачів, що потребують автономного електроживлення із заданими параметрами;
- множини видів основної та допоміжної первинної енергії, яка витрачається на генерацію електричної енергії;
- множини допустимих комбінацій параметрів джерел електроенергії, які використовують основні та допоміжні види первинної енергії, для забезпечення обраної функціональної властивості КСЕ;

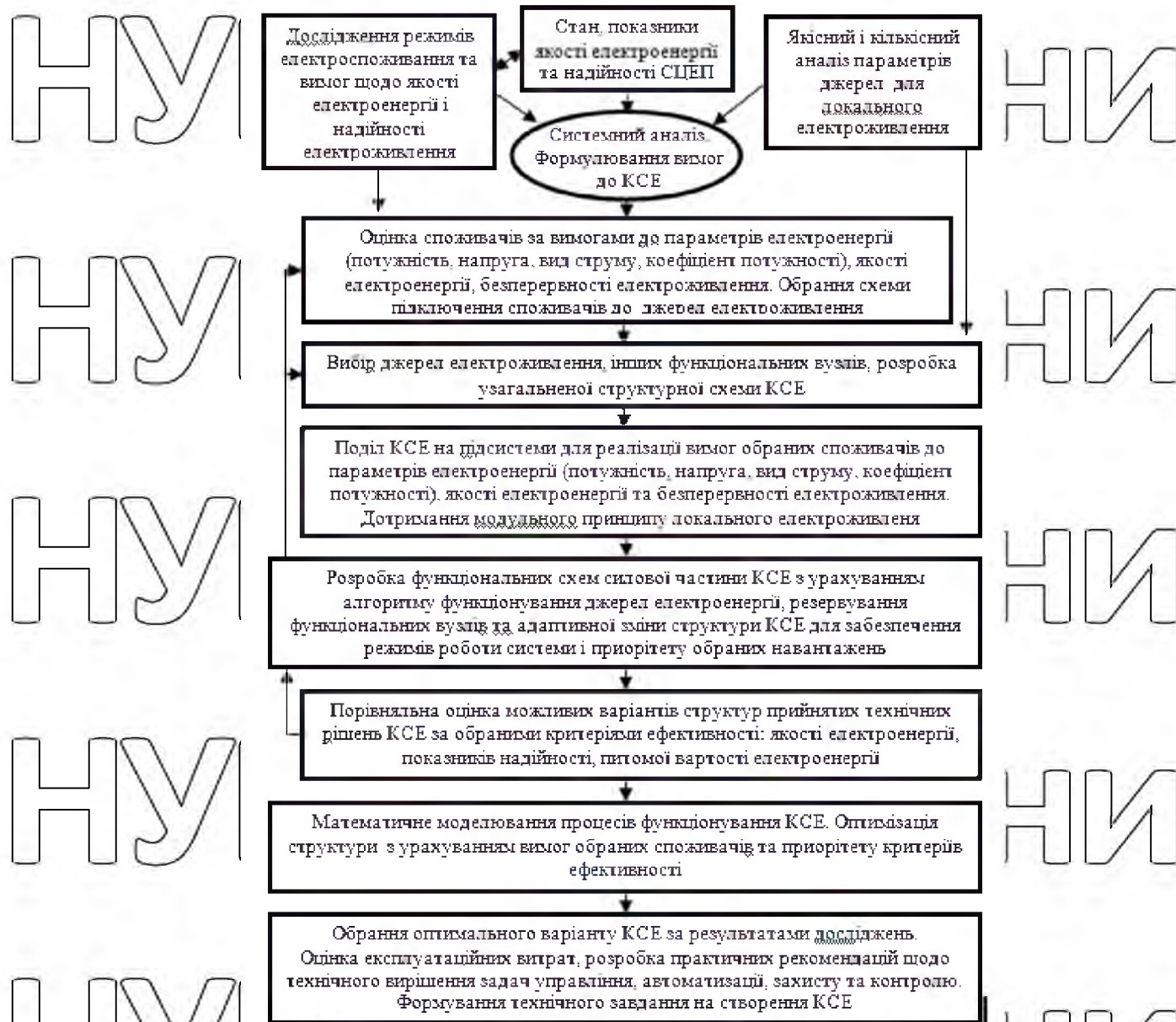


Рис. 2.4.2 Алгоритм побудови КСЕ

- множини функціональних властивостей (генерація, перетворення, розподіл електроенергії з заданими показниками якості електроживлення), якими повинна володіти КСЕ для задоволення потреб споживачів;
- множина можливих варіантів технічної (технологічної) реалізації КСЕ, включаючи операції генерації, перетворення, накопичення та розподілу електроенергії з урахуванням існуючої агрегатної бази.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДИНАМІЧНОГО ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА

3.1 Огляд програмно-технічних комплексів, що використовуються для управління енергоспоживанням

Зміна моделі за якою функціонує ринок з моделі «єдиного покупця» на модель більш ліберального ринку електричної енергії [20,21], в свою чергу вимагає нової моделі для складання інформації на основі якої виконуватимуть розрахунок нарахувань за спожиту електричну енергію. Мова йде про кардинально інші методи для формування даних що використовуються в комерційному обліку. На даний момент в ціна електроенергії сегментована та в неї входить чималий список товарів та проміжних послуг, насамперед це - балансування ринку та інших послуг що продаються і купуються по ринковому принципу. Це спричиняє висунення кардинально нових вимог до технічних та програмних інструментів що приймають участь в формуванні розрахункових даних для зіставлення рахунків за електроенергію, та способів подуви цих методів.

Для створення інформаційного підґрунтя що забезпечує формування рахунків в оптовому ринку електричної енергії України (ОРЕ), в нашій країні відносно широке застосування має лише одна система Автоматизована система комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ), що здійснюється у суб'єктів енергоринку [22,23]. Вигляд структурної схеми АСКОЕ, що побудований з врахуванням умов енергоринку наведено на рис 3.1.4.

Система представляє собою сукупність груп об'єктів

- комплекс апаратури та систем який відповідає за вимірювання
- об'єкти обліку

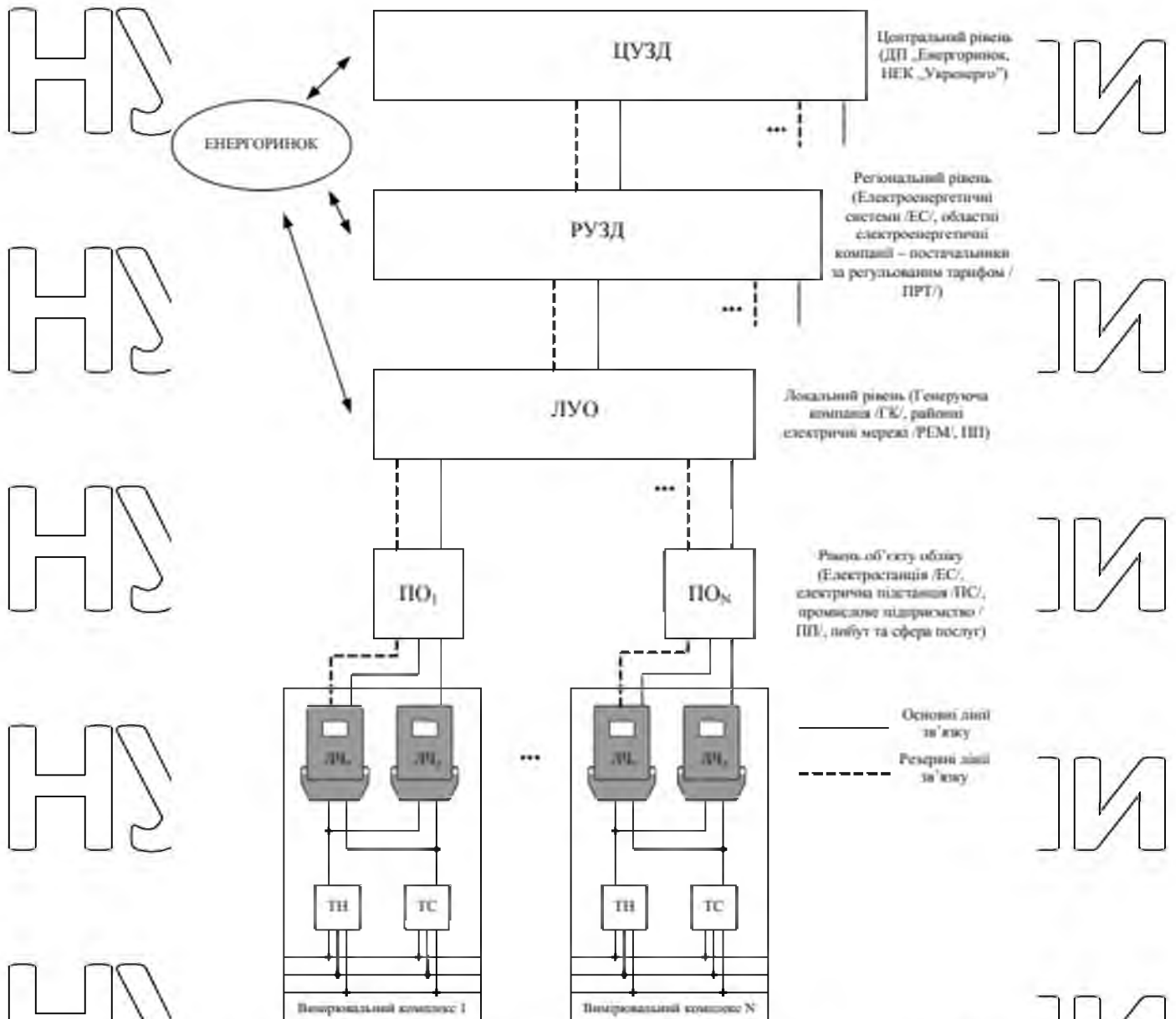


Рис 3.1.1 Основні принципи організації збору та обробки даних комерційного обліку в АСКОЕ в умовах енергоринку України[24].

До комплексу апаратури та систем які відповідають за вимірювання належать трансформатори струму (ТС), лічильники електроенергії (ЛЧ), пристрої перетворення (ПП).

До об'єктів обліку відносяться (генеруюча компанія /ГК/, промислове підприємство /ПП/, побут та сфера послуг); на локальному рівні це (ГК, райони електричних мереж /РЕМ/, ПП);

До регіонального рівня відносять (електроенергетичні системи /ЕС/,

обласні електропередавальні компанії – ПРТ, ПНТ); та останній рівень центральний – (Головний оператор – Державне підприємство /ДП/ «Енергоринок», НЕК «Укренерго», національний регулятор – НКРЕКП) [22].

Всі зібрані дані що використовуються для комерційного обліку мають оброблятися та зберігатися на протязі встановленого терміну для конкретного рівня розподіленої АСКОЕ, та котрому ці дані вимірюються чи формуються [25]. Водночас з цим потрібно вирішувати проблеми технологічного характеру для того щоб забезпечити синхронність вимірювань, достовірність та повноту конкретних даних що будуть використані для комерційного обліку електричної енергії.

Є потреба забезпечення вчасної доставки даних до верхніх рівнів АСКОЕ і до головного оператора в відповідності до часових відрізків та специфіки роботи балансувального механізму для того щоб використати це в обробленні, агрегуванні, аналізі та використанні. Дані котрі повинні бути передані на верхні рівні системи АСКОЕ мають включати себе достатньо інформації щоб здійснити розрахунки за використану електричну енергію також для того щоб забезпечити інформацією завдання управління попитом та для здійснення балансу ринку, а ще для надання допоміжних послуг. Є

необхідність в урахуванні кількості суб'єктів ринку, щоб в подальшому при збільшенні потреб в інформаційному забезпеченні та кількості додаткових послуг що виникатимуть в наслідок лібералізації ринку електричної енергії.

В умовах розвиненої багаторівневої структури та ринку електричної енергії України (рис 3.1.1) з огляду на функціональні задачі така структура повинна розглядатися як структура що містить в собі дві функціональні частини. Складова частина АСКОЕ яка відповідає за формування та зберігання даних первинної фіксації має класифікуватися як ВІС АСКОЕ. Основою класифікації вимірювальної інформації в системах АСКОЕ є принцип поділу отриманих даних на первинні дані та інформацію, що була отримана в результаті обробки первинних даних за допомогою наявних технічних та програмних засобів.

В структурі АСКОЕ джерелом первинних даних виступає різного роду засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), що є долученими до Державного реєстру ЗВТ, та мають право бути застосованими в Україні.

Згідно з принципами виконання побудови системи абсолютно всі виміри що зв'язані з формуванням даних вимірів, повинні бути здійснені за допомогою ВІС. Дані вимірів величин які є первинними з відповідним позначенням часу їх отримання, та кодами достовірності мають збергатися в чіпах пам'яті вимірювальних пристроїв в необробленому вигляді та захищені від різного роду втручань ззовні]. Решта системи АСКОЕ являється інформаційною системою (ІС), що не робить ніяких вимірів. Під час роботи системи взаємодіють ІС отримує ряд даних від ВІС та проводить їх обробку.

При проведенні аналізу структурної схеми АСКОЕ (рис 3.1.1), слід звернути увагу на вимірювально - інформаційну систему (ВІС), конкретно на рівні об'єктів обліку що в свою чергу являються занесеними до Держреєстру України або атестованих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), приладів що застосовуються для збору, обробки та зберігання даних, приладів та засобів зв'язку, синхронізації часу що об'єднані функціонально щоб проводити облік електроенергії. Вони разом приводять до реалізації процедури обліку електричної енергії. Вимірювально-інформаційна система має чіткі метрологічні характеристики (МХ) що нормуються [24].

Характерною рисою саме цієї системи являється ПБД в котрій зберігаються первинні дані обліку. Система АСКОЕ створена на основі об'єктів автоматизації також туди входять вимірювальні комплекси і пристрої обліку (ПО), котрі зв'язані між собою лініями зв'язку. За урахування інформації що отримана за допомогою вимірювальних комплексів, обчисленням даних займається ПО після обчислення даних вони зберігаються в ПБД і за допомогою різноманітних цифрових інтерфейсів можливий доступ до цих даних. При деяких особливих умовах облікові дані можуть зберігатись в вимірювальних комплексах. Обладнання з якого складається вимірювальний комплекс в сукупності з каналом зв'язку котрий в свою чергу

сполучає його з визначеним входом ПО, а також складовою ПО що займається зчитуванням та обробкою даних і цей комплекс в результаті створює вимірювальний канал (ВК).

Системи АСКОЕ бувають декількох типів, є системи в котрих дані передаються до ПО під виглядом імпульсів та системи в котрих передача інформації під виглядом цифрового коду. При розгляді першої моделі рис (3.1.2) прилади для обліку електроенергії що є в складі вимірювальних комплексів проводять вимір активну складову споживаної енергії та інтегровану в часі реактивну складову в двосторонньому режимі.

Перетворюючі пристрої як правило вмонтовані в лічильники та перетворюють активну енергію виміряну опором в вигляд імпульсів. Котрі в свою чергу транслюються до ПО за допомогою дротових ліній зв'язку. З огляду на кількість імпульсів що передані до ПО і того з якою швидкістю вони дійшли вмонтоване програмне забезпечення (ПЗ) виконує розрахунки даних обліку і вони зберігаються в ПБД до котрих завжди є доступ за допомогою різноманітних цифрових інтерфейсів. За такими принципами влаштовані багато систем обліку як вітчизняних так і зарубіжних.

Серед переваг такого типу систем є:

- досить висока обчислювальна швидкість
- передача та даних інформаційною мережею
- застосування для створення систем електронних лічильників

різних типів

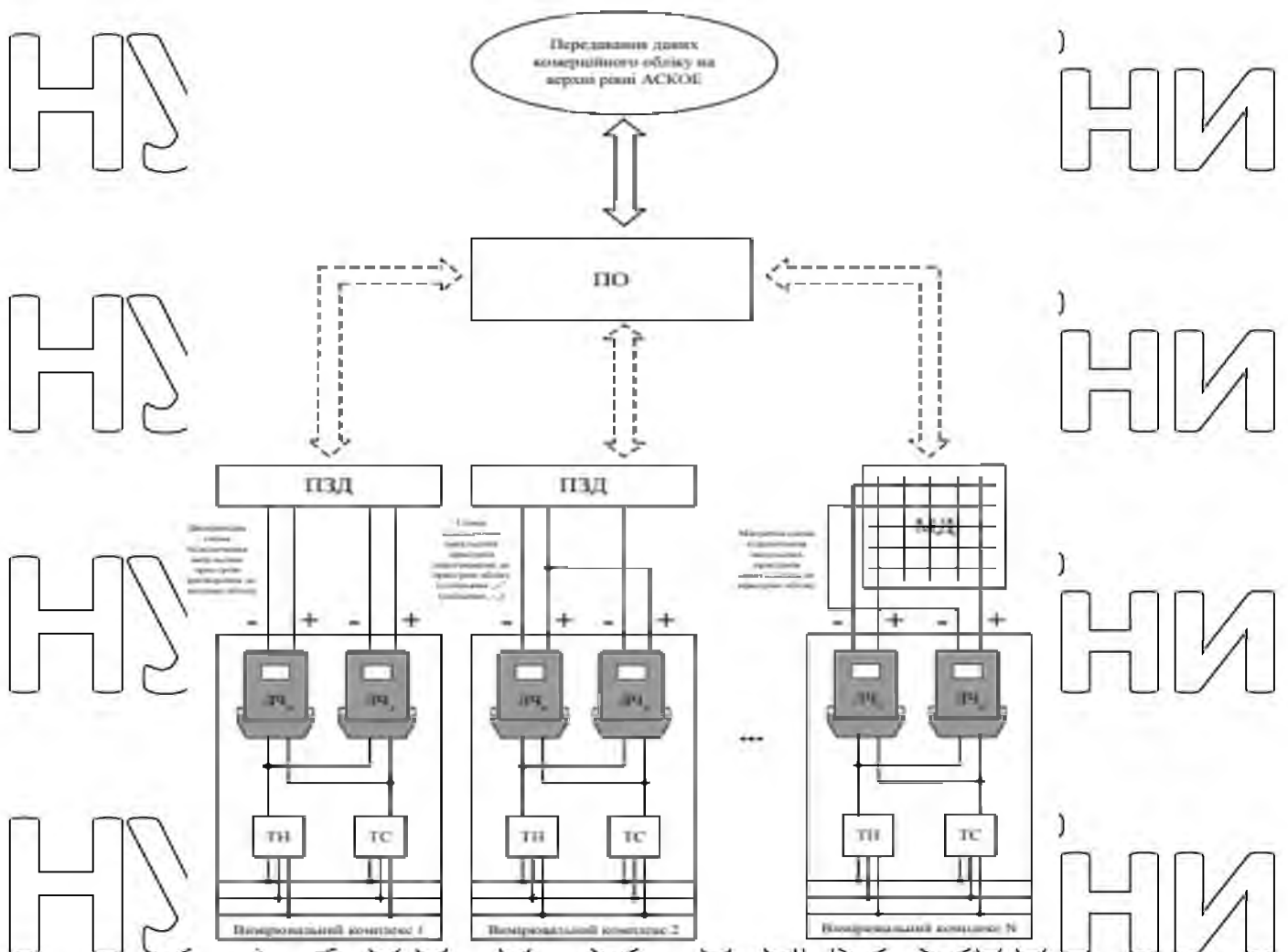


Рис 3.1.2 Схема побудови АСКОЕ на базі імпульсних вимірвальних каналів

До цих комплексів входять ТН, ТС, лічильник та дублюючий лічильник електроенергії в який інтегровано ПЧ та (ПК) прилад контролю якості поданої електроенергії. Застосування цієї системи дозволяє досить добре контролювати мережу та вести облік, але не має можливостей для повного управління тому розробка систем в цьому напрямку є досить актуальною

НУБІП України

НУБІП України

3.2 Вибір апаратної складової технічної платформи та зазначення їхніх характеристик

В магистерській роботі а саме в третьому розділі представлений детальний та всебічний опис технічної платформи для динамічного енергоменеджменту яку розроблено на кафедрі постачання ім. проф. В.М Синькова.

- Силова частина розробленої платформи включає в себе:
 - Автоматичні вимикачі
 - Лічильники електричної енергії
 - Блок вимірювань
 - Електромагнітні контактори
 - Реле RS485 Modbus RTU
 - Релейні модулі ESP8266-01S

Далі окремо розглянемо кожен з вищезазначених елементів системи.

В силовій частині для підводу потужності слугує автоматичний вимикач серії ВА47. Та три однополюсні автоматичні вимикачі цієї серії.



Рис 3.2.1 Зовнішній вигляд автоматичного вимикача

Даний автоматичний вимикач призначений для роботи в трифазній та однофазній мережах змінного струму номінальною напругою 400 В та частотою 50 Гц.

Вимикач виконує функції вимкнення електроустановки при короткому замиканні та перевантаженні. В таблиці 3.2.1 представлені технічні

характеристики даної моделі

Таблиця 3.2.1

Технічні характеристики автоматичного вимикача серії ВА47

Відповідають стандартам	ГОСТ Р 50345-2010, ТУ2000 АГІЄ.641.235.003
Номинальна напруга частотою 50 Гц, В	230/400
Номинальний струм, А	0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальна відключаюча здатність, А	4500
Напруга постійного струму, В/полюс	48
Характеристики спрацьовування електромагнітного розчіплювача	B, C, D
Число полюсів	1, 2, 3, 4
Умови експлуатації	УХЛ4
Ступінь захисту вимикача	IP-20
Електрична зносостійкість, циклів В-В, не менше	6500
Механічна зносостійкість, циклів В-О	20 000
Максимальний переріз проводів, що приєднуються, мм ²	25
Наявність дорогоцінних металів	0,3÷0,5

(срібло), л/полюс	0,1
Маса 1 полюса, кг	
Діапазон робочих температур, °С	-40 ÷ +50
Індикатор розгашування контактів (на лицьовій панелі)	
Можливість приєднання до контактних затискачів сполучних шин	PIN (штир), FORK (вилка)

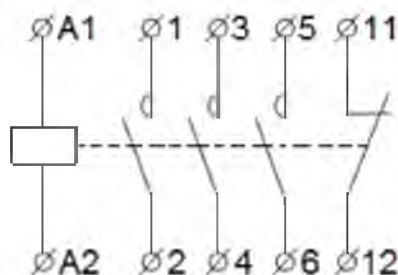
Для керування трифазним навантаженням в силовій частині установки було встановлено електромагнітний контактор серії ПМ.



Рис 3.2.2 Зовнішній вигляд електромагнітного контактора ПМ 1-09

Електромагнітні контактори використовуються для запуску, зупинки та реверсу асинхронних електродвигунів, а також можуть застосовуватись для керування активним та індуктивним навантаженням.

НУБІГ



НУБІГ

ПМ1-XX-01...ПМ2-XX-01

Рис 3.2.3 Електрична схема електромагнітного контактора

В Таблиці 3.2.2 представлені характеристики електромагнітного контактора.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 3.2.2

Технічні характеристики електромагнітного контактора ПМ-09

Номинальний робочий, струм А	АС-1	20
	АС-3	9
	АС-4	3,5
Номинальна робоча напруга, В АС 50Гц		380
Номинальна напруга ізоляції, В		660
Номинальна імпульсна напруга, кВ		6
Максимальний струм комутації ($t \leq 1$ сек), А		162
Номинальна потужність по АС- 3, кВт	220В	2,2
	400В	1
Умовний струм КЗ, кА		3
Потужність розсіювання, Вт	АС-1	1,56
	АС-3	0,2

Електрична зносостійкість, циклів	$\times 10^6$, АС-3 $\times 10^4$, АС-4	2 20
Механічна зносостійкість, циклів		2×10^7
Кількість контактів	тип додаткових	1NO(10), 1NC(01)

Для обліку спожитої електричної енергії встановлюю два трифазні лічильники електричної енергії типу LE-03M.



Рис 3.2.4 Зовнішній вигляд лічильника LE-03M

Призначення: лічильник серії М призначений для індикації та реєстрації значень спожитої електроенергії з можливістю дистанційного зчитування даних із лічильників за протоколом MODBUS RTU. Лічильники не призначені для розрахунку з постачальниками за спожиту електроенергію, лише для внутрішнього обліку.

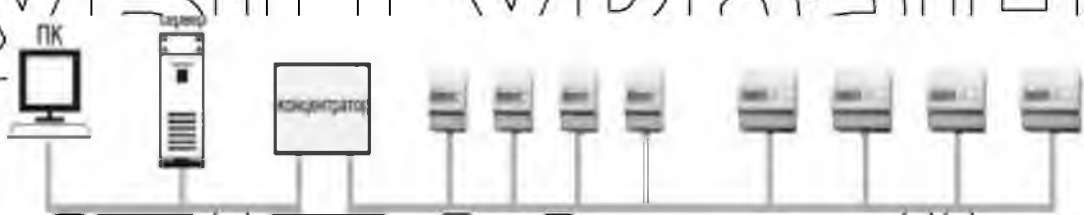


Рис 3.2.5 Зображення схеми передачі даних лічильником на сервер та до користувача

Зв'язок із лічильниками електроенергії як із пристроями типу SLAVE відбувається за протоколом MODBUS RTU через послідовний інтерфейс RS485 з наступними параметрами:

- швидкість передачі даних 9600 біт/сек
- без біта парності
- 8 біт даних
- 1 стоп-біт
- контрольна сума CRC
- Зчитування даних з лічильника реалізується шляхом надсилання

пристрою наступного набору байт: xx 03 00 00 00 03 CRCL CRCH

де:

- xx - адреса лічильника (1 байт)
- 03 00 00 03 - повідомлення про показання лічильника (3 байти)

- CRCL – молодше слово контрольної суми CRC (1 байт)

- CRCH – старше слово контрольної суми CRC (1 байт)

- У відповідь лічильник відправляє набір даних у такому вигляді:

- xx 03 06 00 06 00 00 00 01 E8 48 CRCL CRCH

- де:

- xx – адреса лічильника, який надсилає відповідь

- 03 00 06 – ідентифікатор відповіді (3 байти)

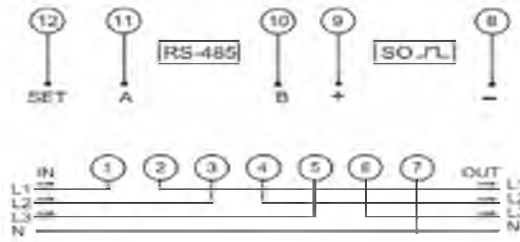
- 00 00 00 01 E8 48 – показання лічильника (6 байт)

- CRCL – молодше слово контрольної суми CRC (1 байт)

- CRCH – старше слово контрольної суми CRC (1 байт)

Показання записуються у вигляді послідовних байтів у шістнадцятковій системі обчислення. Після перетворення на десяткову систему ми побачимо значення кВт, які збігаються з показаннями лічильника. В таблиці 3.2.3 представлені технічні характеристики лічильника.

НУБІ



аїни

Рис 3.2.6 Схеми підключення лічильника

Таблиця 3.2.3

Технічні характеристики лічильника LE-03M	
напруга живлення	3x220/380 В
номінальний струм	3x10 А
максимальний струм	3x100 А
мінімальний струм	0,04 А
клас точності згідно з IEC61036	клас 1
споживана потужність не більше	10 ВА; 2 Вт
діапазон показань лічильника	0 - 999999,9 кВт * рік
споживана потужність не більше	10 ВА; 2 Вт
діапазон показань лічильника	0 - 999999,9 кВт * рік
константа лічильника	1600 імп./кВт*рік
візуальна індикація зчитування	червоний світлодіод
імпульсні виходи SO+ SO-	тип відкритий колектор
напруга підключення SO+ SO-	не більше 27 В=
струм підключення SO+ SO-	не більше 27 мА
константа SO+ SO-	800 ВМП./кВт*рік
послідовний інтерфейс	RS485
протокол	MODBUS RTU
діапазон робочих температур	від -20 ° С до +50 ° С
монтаж	на DIN-рейці 35 мм
приєднання проводів	загискачі твинтсві 25 мм ²
габаритні розміри	7 модулів типу S (122,5 мм)

Для контролю параметрів живлення в даній системі використовуються вимірювачі напруги та струму ForthLogic ES-PI-1M, ForthLogic ES-PU-1M відповідно [20,22]. Спершу розглянемо будову та характеристики датчиків.

Датчик ForthLogic ES-PU-1M використовується для виміру напруги постійного та змінного струму в однофазній мережі та виміряні дані передає за допомогою інтерфейсу RS485.



Рис. 3.2.7 Зовнішній вигляд вимірювача ES-PU-1M

Вимірювання діючого значення напруги за допомогою ES-PU-1M відбувається безперервно. Його вимірюють застосовуючи технологію TrueRMS, що в свою чергу гарантує досить високу точність вимірювання незалежно від форми напруги також можливо виміряти напругу постійного струму в незалежності від її полярності в такому разі значення що виміряли буде співпадати з абсолютним значенням.

Дані передаються по протоколу MODBUS RTU. В таблиці 3.2.4 представлені параметри комунікаційного інтерфейсу ES-PU-1M

Таблиця 3.2.4

Параметри комунікаційного інтерфейсу

Протокол	MODBUS RTU режим SLAVE
Формат послідовності:	швидкість 9600, 1 старт біт, 8 біт даних, 2 стоп біта, без контролю парності.
Діапазон власних мережевих адрес:	10..19
Коди виконуваних доручень:	4 - Доручення прочитати кілька вхідних регістрів (0x04 - Read Input Registers) 17 - Доручення прочитати ID пристрою (0x11 - Report Slave ID)
Максимальна частота опитувань: 1	15 Гц

Таблиця 3.2.5

Внутрішні регістри ES-PU-1M

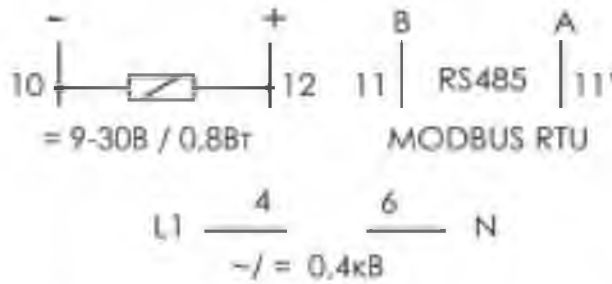
Адреса	Опис	Доступ	Тип
1000	Виміряне значення діючої напруги	читання	цілий зі знаком

Значення що наведені вище представлені в десятковій формі.

Значення напруги котре виміряли записується під виглядом цілих додатних чисел котрі кратні 1В. Старший біт вказує на знак числа: 0 - додатне число, 1 - від'ємне число. Отже у регістрі цілого типу зі знаком можливо зберігати цілі числа в діапазоні від -32768 до +32767.

На доручення про зчитування ID датчика, ES-PU-1M у відповідь відправляє пакет з даними в якому міститься наступна інформація: в полі "Slave ID" код 0xEC, в полі "Run Indicator Status" код 0xFF в полі "Additional Data" текстовий рядок "ESPU-1Mv1.0"

НУБ



їни

НУБІП України

Рис 3.2.8 Схеми розподілу контактів ES-PI-1M

Датчик ForthLogic ES-PI-1M використовується для виміру

постійного та змінного струму в однофазній мережі та виміряні дані передає за допомогою інтерфейсу RS485.

НУБІП України



НУБІП України

НУБІП України

Рис 3.2.9 Зовнішній вигляд вимірювача ES-PI-1M

Даний датчик майже аналогічний до датчика напруги ES-FU-1M

відмінності полягають лише в тому, що даний датчик вимірює струм також є деякі відмінності в протоколі передачі даних що представлені в таблиці 3.2.6.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.2.6

Параметри комунікаційного інтерфейсу

Протокол	MODBUS RTU режим SLAVE
Формат посилки:	швидкість 9600, 1 стартовий біт, 8 біт даних, 2 стоп біта, без контролю парності.
Діапазон власних мережевих адрес:	20...29
Коди виконуваних доручень:	03 - Читання статусу декількох регістрів (0x03 - Read Holding Registers) Версія документа 1.1 2 Версія мікропрограми 1.1 4 - Доручення прочитати кілька вхідних регістрів (0x04 - Read Input Registers) 06 - Запис окремого регістра (0x06 - Write Single Register) 16 - Запис декількох регістрів (0x10 - Write Multiple registers) 17 - Доручення прочитати ID пристрою (0x11 - Report Slave ID)
Максимальна частота опитувань:	15 Гц

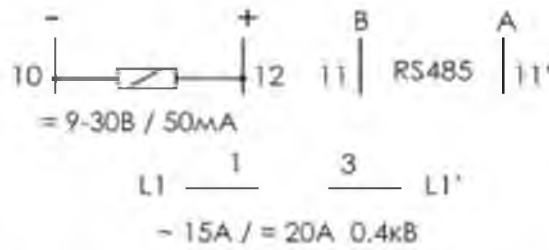
НУБІП України

Таблиця 3.2.7

Внутрішні регістри ES-PI-1M

Адреса	Опис	Доступ	Тип
1000	Виміряне значення діючої напруги	читання	цілий зі знаком

НУБІ



їни

Рис 3.2.10 Схеми розподілу контактів ES-PI-1M

В один канал зв'язку RS485 може бути під'єднань близько 10 пристроїв такого типу і кожен із пристроїв має свій унікальний номер, адресу.

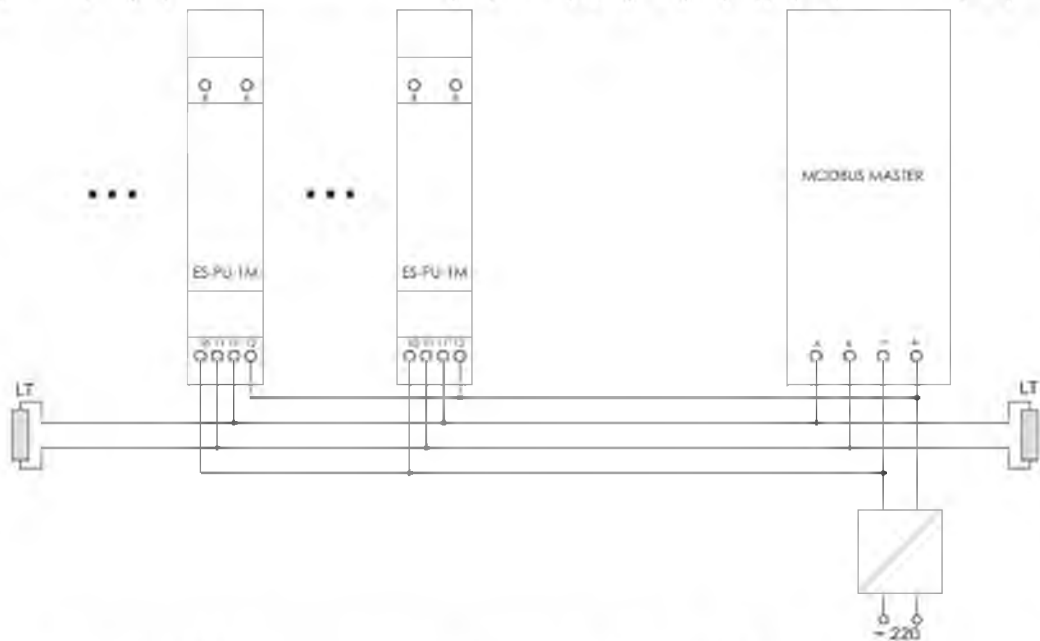
Об'єднуються пристрої в структуровану мережу кабелем типу "вита пара в

екрані". Протяжність такого з'єднання допускається до 1км На (рис 3.2.11)

представлено підключення датчиків ES-PI-1M, ES-PU-1M

НУБІП України

Н



И

И

Рис 3.2.11 Підключення датчиків ES-PI-1M, ES-PU-1M.

Також в представленій системі енергетичного менеджменту використовується реле з керуванням по інтерфейсу RS485. Його опис та технічні характеристики наведені нижче.

НУБІП України

НУБІ

їїни

НУБІ



їїни

Рис 3.2.12 RS485 Modbus RTU Реле

НУБІП Українни

Модуль з керуванням по 2-провідній лінії RS485 дозволяє за протоколом Modbus RTU керувати 8 реле

- Розмір: DIN-рейковий корпус 15x90x40 мм.
- Команди: стандартні Modbus RTU вважати поточний стан реле, змінити стан реле, змінити швидкість передачі, встановити адресу модуля.
- Максимальне навантаження на реле: 7A 250VAC/15A 120VAC/10A 30VDC.
- Живлення: 12V 400mA.
- Споживання харчування: очікування – 90 mA, всі реле активні – 370 mA.
- Пам'ять: енергонезалежна пам'ять для зберігання налаштувань.
- Підключення: гвинтові клемники.
- Modbus адреса: (змінюється програмно) 0...255 (за замовчуванням: 0x01).
- Швидкість передачі: (змінюється програмно) 2400, 4800, 9600, 19200, 28800, 38400, 56000, 57600, 115200, 128000, 256000 (за замовчуванням 9600).
- Налаштування порту: 8n1

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП Українни

НУБІП Українни

Також застосовуються реле ESP-01S. Це достатньо просте Wi-Fi реле засновані на ESP-01S (ESP8266). За допомогою даного реле, можна віддалено

відключати світло, електроприлади та багато іншого.

Технічні характеристики

- Модель ESP8266: ESP-01S
- Напруга живлення: DC 5 В
- Робочий струм: 250 мА
- Виведення керування реле: GPIO0
- Навантаження змінного струму: 10 А, 250 В
- Навантаження постійного струму: 10 А, 30 В
- Габарити пульта: 37 мм x 25 мм



Рис. 3.2.13 Зовнішній вигляд модуля реле ESP8266-01S

За допомогою цього модуля можна керувати будь-яким пристроєм по мережі Wi-Fi, як передавальний пристрій використовується контролер ESP8266-01S (ESP-01S).

Призначення роз'ємів Wi-Fi реле:

- 3-піновий роз'єм підключення керуючого навантаження.
- 2-х піновий роз'єм живлення GND та 5В
- 10-ти піновий роз'єм ESP-01S

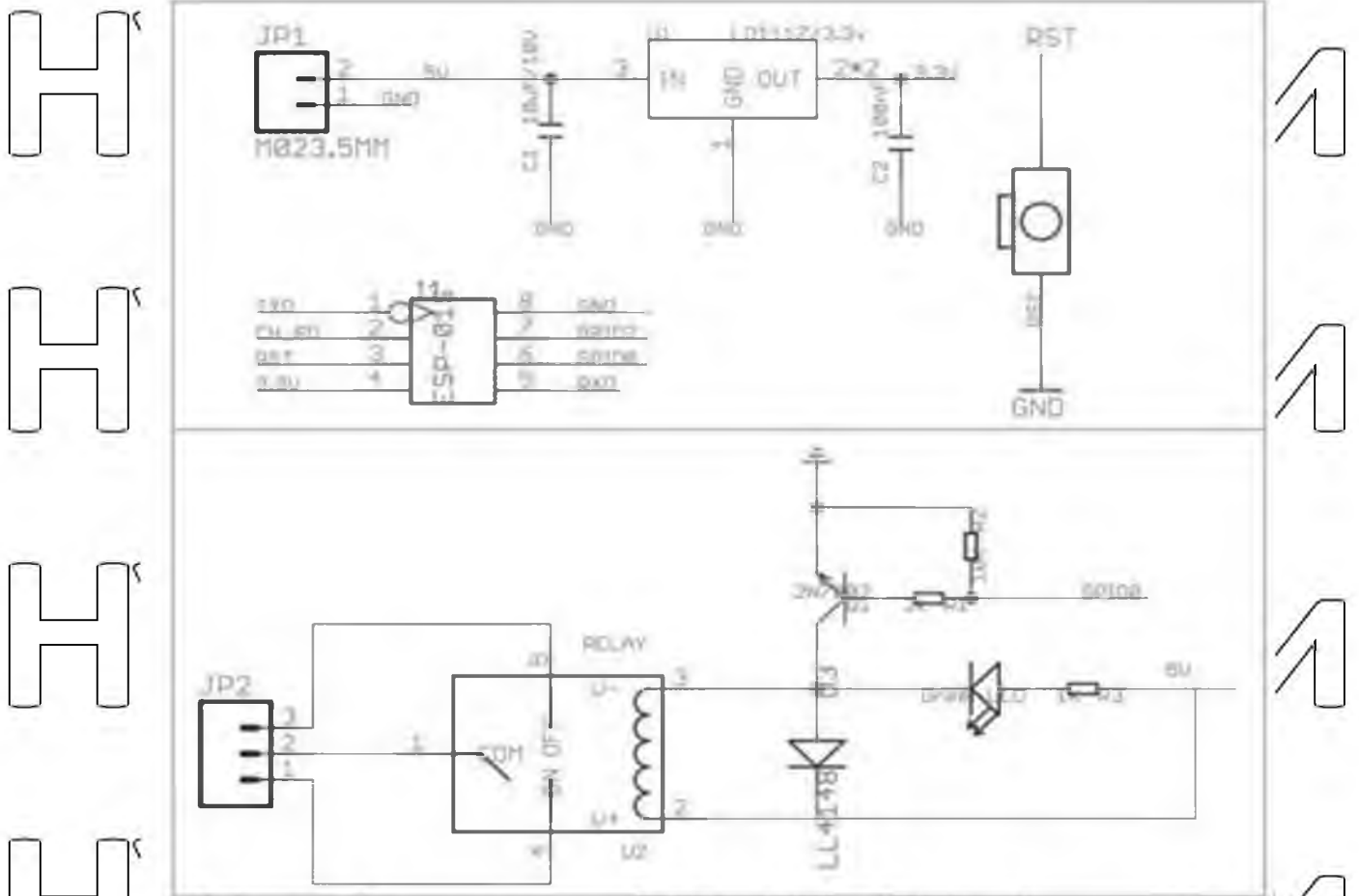


Рис 3.2.14 Схема модуля реле ESP8266-01S

3.3 Обґрунтування вибору мікроконтролера Arduino MEGA2560 та його

технічні характеристики

В даному розділі детально описано складові частини технічної платформи які відповідають за управління силовою частиною та зв'язку системи з серверами.

Система моніторингу та управління складатиметься з таких елементів:

- мікроконтролер Arduino MEGA2560
- TFT-дисплея 1.8
- модуль 4x4 Клавіатур.
- конвертер сигналу RS485-UART

Основою установки для динамічного енергоменеджменту являється мікроконтролер Arduino MEGA2560. Вона являється центром управління моніторингу та передачі даних в системі. На (рис 3.3.1) зображено зовнішній вигляд мікроконтролера.



Рис 3.3.1 Зовнішній вигляд Arduino MEGA2560 R3 + ESP8266 WiFi

В загальному плата звична окрім однієї деталі яка відрізняє її, а конкретно те що в плату вмонтовано чіп ESP8266EX. З урахуванням цієї деталі плата стає специфічним модулем. Також в плату вмонтовано модуль

ESP-12. В плату також вмонтована антена та роз'єм для підключення зовнішньої антени. На (рис. 3.3.2) зображено позначення контактів підключення мікроконтролера.

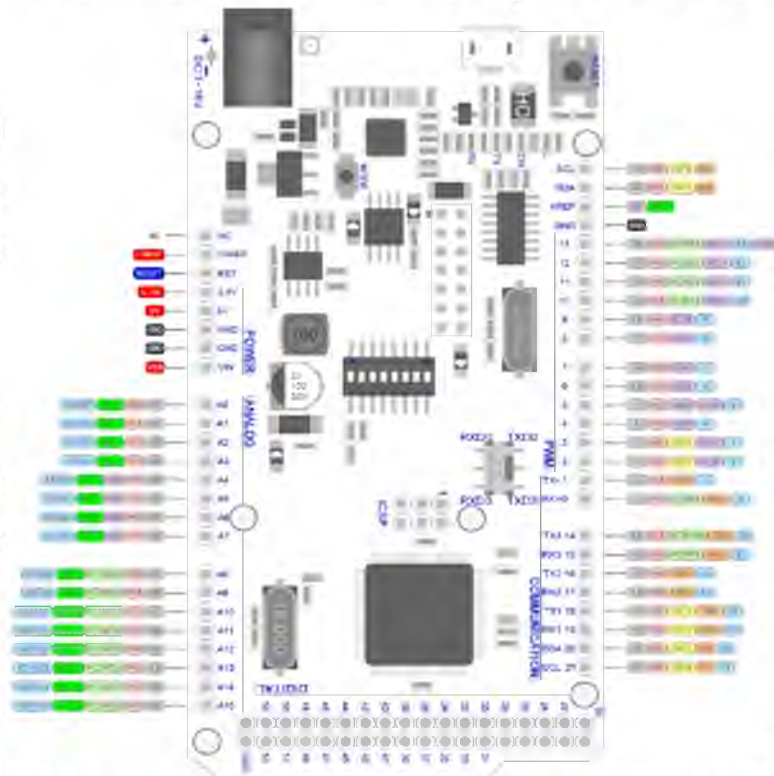


Рис. 3.3.2 Позначення контактів підключення мікроконтролера Arduino MEGA2560 R3 + ESP8266 WiFi

Головна перевага в використанні цієї плати, можливість гнучких налаштувань. Можна по-різному налаштувати взаємодію між її трьома чіпами Atmega2560, ESP8266EX та USB-TTL конвертером CH340G.

Можливі як поодинокі, і складні сполуки, які дозволяють організувати безліч варіантів взаємодії всіх частин плати. Це відкриває великі можливості щодо побудови різних пристроїв.

Ще хочеться відзначити пристойну здатність навантаження плати. Плата може забезпечити струм навантаження 1,6 А по 5-вольтовому каналу і 1 А по 3,3-вольтовому..

Для виведення інформації про стан системи використано TFT-дисплей 1,8 який сумісний з платами Arduino. Нижче наведено опис та технічні характеристики цього модуля.

Технічні характеристики

- Напруга живлення: 3.3 В – 5 В
- Діагональ: 1,8 дюйма
- Роздільна здатність: 128×160 пікселів
- Кольоровість: 65 тисяч кольорів у форматі RGB
- Інтерфейс: SPI

- Габарити: 35 мм x 57 мм x 7 мм

Даний модуль являє собою кольоровий TFT дисплей діагоналлю 1,8 дюйма і розширенням 128 на 160 крапок, дані що поступають в даний модуль обробляються за допомогою контролера типу ST7735R, цей контролер може відтворити досить багато кольорів. Даний дисплей підключається по SPI інтерфейсу.



Рис 3.3.3 Зовнішній вигляд TFT-дисплея 1,8

Підключення TFT-дисплея 1.8 до Arduino

Група контактів 1:

LED — керування підсвічуванням, напруга не більше 3.3 В

SCK — лінія синхронізації

SDA — лінія даних (Serial Data)

RESET — скидання

CS — Вибір пристрою

GND — «-» живлення модуля

VCC — «+» живлення модуля

Група контактів 2:

SD_CS — Вибір пристрою

SD_MOSI — прийом даних

SD_MISO — Надсилання даних

SD_SCK — лінія синхронізації

Таблиця 3.3.1

Дані для підключення TFT дисплея

TFT	UNO	Резистори
LED	3.3V	150 Ом
SCK	13	1кОм
SDA	11	1кОм
A	9	1кОм
RESET	8	1кОм
CS	10	1кОм
GND	GND	-
VCC	5V	-

Для роботи з платою MEGA2560 R3 + ESP8266 WiFi потрібно підключити бібліотеку SPI оскільки дисплей працює саме по такому інтерфейсу, а також бібліотеку TTF

Для стаціонарного управління системою а конкретно подачі команд на головний пристрій використовується модуль клавіш 4x4 Keypad .

При підключенні до мікроконтролера одного ключа то потрібно один вивід GPIO, але якщо від системи вимагається багато функцій а саме ключів то використовують модулі такого типу.

Для того щоб на головному мікроконтролері не займати на таку задачу багато виводів використовують матричну клавіатуру. Матрична клавіатура - це не що інше, як клавіші, розташовані в ряд і стовбці. Для підключення приміром 16 клавіш на потрібно всього 8 контактів замість 16. На (рис 3.3.4) зображено зовнішній вигляд модуля 4x4 Keypad.

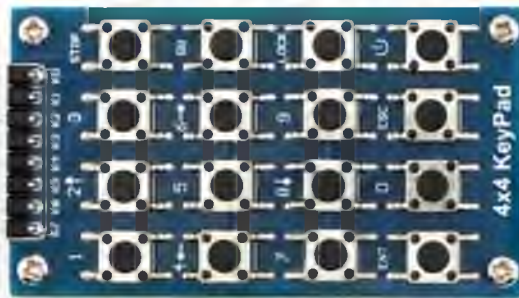


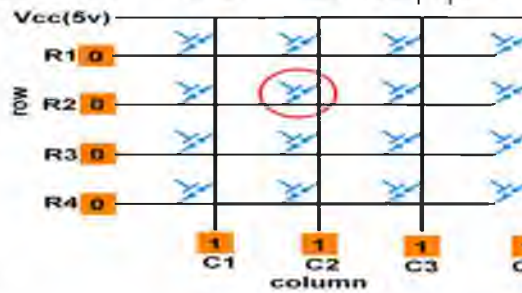
Рис 3.3.4 Зовнішній вигляд модуля 4x4 Keypad.

Клавіатура зроблена у вигляді матриці і при натисканні на кнопку виникає контакт між відповідними рядом та стовбцем. В решті ситуацій зв'язку між ними немає. На (рис 3.3.5) схематичне зображення модуля 4x4 Keypad.



Рис 3.3.5 Схематичне зображення модуля 4x4 Keypad

Для виявлення котра саме з клавіш натиснута мікроконтролер заземлює всі ряди, а потім проводить обчислення стовбців. На (рис 3.3.6) показано принцип функціонування 4x4 Кеурад.



R1 R2 R3 R4 = 0 0 0 0
C1 C2 C3 C4 = 1 1 1 1

Рис 3.3.6 Принцип функціонування 4x4 Кеурад

Якщо дані, враховані із стовбців, рівні 1111, значить, ніяка клавіша не була нажата, як показано на рис вище. і процес триває до тих пір, поки не буде виявлено натиснення клавіші. Тепер розглянемо виділений ключ на рис(3.3.6).

кнопка натиснута. Після натискання клавіші відбуваються контакт рядка зі стовбцем. Якщо один із бітів стовпця має значення нуль, це означає, що кнопка на тиснена.

Після виявлення натиснення клавіші мікроконтролер виконує процес ідентифікації клавіш. Починаючи з верхнього ряду, мікроконтролер буде заземлювати його, подавши низький рівень тільки на ряд R1. Тепер йде підрахунок стовбців, якщо враховані дані - це всі одиниці, ні одна клавіша в цьому рядку не на тиснена, і процес продовжується для наступного рядка. Далі заземлюється наступний ряд R2 і процес триває доки рядок не буде ідентифікований.

Щоб підтримувати зв'язок системи датчиків з головним контролером по протоколу зв'язку використовується конвертер сигналу RS485-UART. На (рис 3.3.7) зображено зовнішній вигляд конвертора.

НУБІП заїни

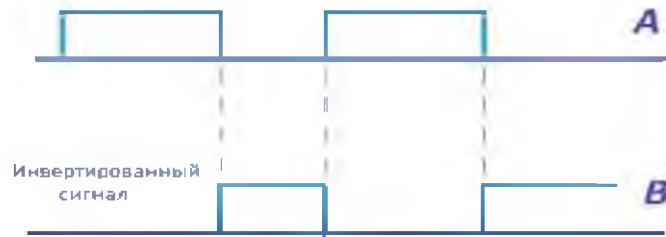


НУБІП України

На рис 3.3.7 Зовнішній вигляд конвертора сигналу RS485-UART

Досить часто при розробці електронних пристроїв, а особливо, у тих випадках, коли необхідна реалізація довгої лінії зв'язку між декількома пристроями, постає завдання включення мікроконтролера в цю саму лінію зв'язку. У більшості випадків вибирають інтерфейс RS485. За великим рахунком, інтерфейс RS485 є одним із найпоширеніших стандартів фізичного рівня зв'язку.

НУБІП України



НУБІП України

Рис 3.3.8 Зображення сигналу RS485

Сигнал у RS485 передається за допомогою різниці потенціалів між цими дротами. І в цьому якраз полягає його головна особливість. Наприклад - нехай у нас є перешкода, яка впливає на передачу даних. При використанні RS485 ця перешкода вплине на обидва дроти (особливо, якщо вони «скручені» у виту пару).

НУБІП України

А оскільки корисний сигнал передається через різницю потенціалів, то при відніманні потенціалу одного дроту з потенціалу іншого вплив перешкод усунеться. Оскільки для прийому та передачі використовуються всього два дроти, то, природно, прийом та передача мають бути розділені у часі.

НУБІП України

Можлива кількість приймачів/передавачів в одній мережі для RS485

становить 32 пристрої. Можлива довжина лінії становить приблизно кілометр, навіть трохи більше. Це єдина з причин, через яку цей інтерфейс є досить привабливим.

Отже, сигнал передається різницею потенціалів. Відповідно, існують певні діапазони значень, у яких переданий цифровий сигнал вважається рівним нулю, чи одиниці. Для RS485 діапазон напруги для 1 ($U > 0.2V$), для 0 ($U < -0.2V$). При значеннях різниці потенціалів, що у межах ± 200 мВ до 200 мВ сигнал у лінії вважається невизначеним.

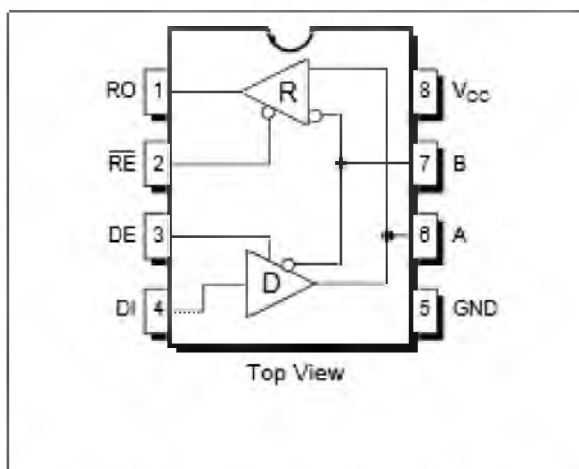


Рис 3.3.9 Схема Мікросхема конвертер UART у RS485.

- Vcc - живлення
- GND
- A і B - ті самі два сигнальні дроти для RS485
- DI - підключаємо до Tx нашого контролера
- RO - підключаємо до Rx UART'a

RE і DE – туди подаємо сигнал дозволу передачі, тобто RTS - Ready To Send – на практиці підключається до будь-якого незайнятого виходу мікроконтролера, а потім у програмі під час передачі виставляємо на виході 1, під час прийому 0. Ніякої зовнішньої обов'язки ця мікросхема не вимагає, а поставлене завдання вирішує відмінно.

3.4 Програмне забезпечення для реалізації системи динамічного енергоменеджменту

Інтерфейс RS232 свого часу набув широкого поширення головним чином завдяки тому, що підтримувався на апаратному рівні першими комп'ютерами. Його основне призначення - з'єднання між комп'ютером і периферійним пристроєм. Головні недоліки:

Коротка лінія зв'язку, зазвичай не більше 10 метрів, через недостатню завадостійкість.

Неможливість використання однієї лінії для підключення багатьох пристроїв.

Невисока швидкість приймання-передачі даних

Не дозволяло його широко використовувати у промислових лініях зв'язку під час проектування великих мереж. Розроблений RS485 інтерфейс

вирішив багато з цих проблем. Як було сказано вище RS232 інтерфейс не володів достатньою стійкістю до перешкод - передавач і приймач порівнювали напругу на лініях даних і щодо загального нульового дроту для виявлення двійкового сигналу. Зміна потенціалу нульового дроту призводила до виникнення перешкоди, хоча рівень визначення «нуля» та «одиниці» було

обрано досить високим - близько 3 Вольт. Електромагнітні перешкоди знижували як максимальну відстань лінії зв'язку, і максимальну швидкість прийому-передачі даних.

У реалізації роботи інтерфейсу RS485 покладено принцип виявлення корисного сигналу шляхом диференціального порівняння потенціалів на двопровідній лінії, виконаної як правило у вигляді крученої пари. Потенціал нульового дроту немає значення. До того ж синфазні електромагнітні перешкоди не мають великого значення на диференціальний, різницевий сигнал у кручений парі. Це дозволило збільшити довжину лінії зв'язку до 1200 метрів за швидкості 100 kbs (швидкість при довжині лінії 12 метрів - 35 Mbs).

Чутливість приймача близько 200 мВ.

Так як лінія RS485 складається з крученої пари, то логічно припустити,

що пристрої підключаються до неї за двома контактами:

A або "+", не інвертований

B або «-», інвертований

Опціонально також може бути використаний третій провід як нульову шину.

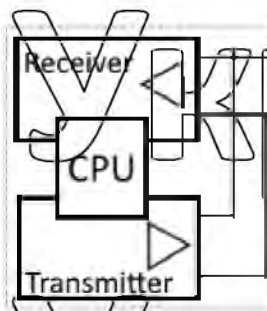


Рис 3.4.1 Структурна схема пристрою – клієнта інтерфейсу RS485

Схематично, схему пристрою - клієнта інтерфейсу RS485 можна розглядати як блок, в якому присутній приймач і передавач даних, де входи одного об'єднані з виходами іншого. Також існує процесорний блок, управляючий діями передавача, виходячи з закладеної у ньому програми. Він змушує приймач безперервно прослуковувати лінію зв'язку, коли дані на лінії призначені саме цьому блоку, - визначається адресою пристрою, обробляє пакет і при необхідності видає на цю ж лінію свою відповідь у вигляді набору двійкових імпульсів.

Топологія мережі RS485 інтерфейсу - ще одна з головних його переваг. Це єдиний з інтерфейсів, здатний з'єднувати по одній лінії з крученої пари безліч передавачів і приймачів, включених паралельно. До однієї лінії можна підключити 32 пристрої із входнім опором 12 КОм. При використанні сучасних високоомних пристроїв, їх кількість може досягати 256.

Застосовуючи повторювачі сигналу (реп'єтери) кількість пристроїв може досягати десятки тисяч, розташованих один від одного за кілометри. Без складного мережного обладнання та програмного забезпечення можна створити розгалужену мережу різних пристроїв, до того ж легко розширювану, - за бажання просто прикрутити до двох клем новий прилад, піднастроївши щось трохи в програмі, що управляє.

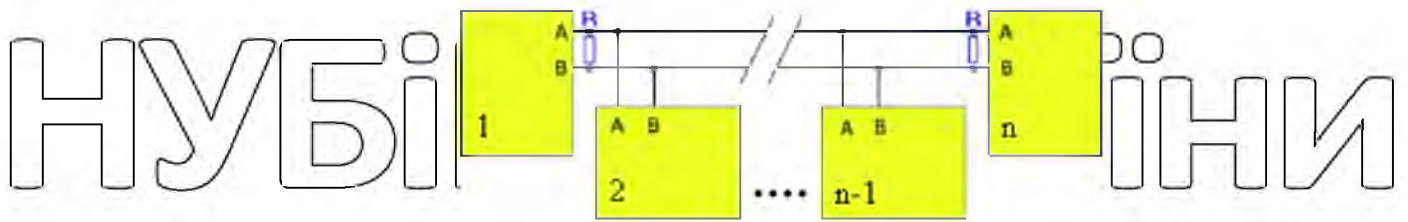


Рис 3.4.2 мережа інтерфейсу RS485

Тому RS485 інтерфейс набув великої популярності для зв'язку один з одним комп'ютерів, PLC-контролерів, датчиків, вторинних приладів. На його основі будуються системи АСУТП, КВП та А.

У промисловості старі кабельні лотки, щити, тонни кабелів замінюються тоненькою лінією крученої пари, яка об'єднує датчики, дисплеї, що показують та пишуть вторинні прилади. На малюнку, на початку і в кінці лінії застосовані термінуючі резистори R, опором 100 Ом (для усунення ефекту відображення сигналу).

Як правило, всі пристрої мережі можуть або приймати дані з мережі (слухати), або передавати дані в мережу, на загальну лінію. Коли пристрій приймає дані, вихід його передавача знаходиться в Z-стані (з високим імпедансом) і ніяк не впливає на роботу лінії та не заважає іншим пристроям.

Кожному пристрою в мережі заздалегідь, в його налаштуваннях присвоюється власна унікальна мережна адреса. І так все підключено, усі пристрої слухають. А що далі? Хтось має першим заговорити.

Зазвичай призначається хост (master) пристрій, яке ініціює роботу всієї лінії. Хостом може бути комп'ютер або PLC-панель, підключена до інтерфейсу. Хост посилає та приймає дані від інших пристроїв у мережі, керує цими пристроями за алгоритмом закладеної в ньому програми. У свою чергу, хост може бути підлеглим (slave) зовсім іншій лінії інтерфейсу RS485.

3.4.1 Опис алгоритму роботи програми управління

Встановлення режимів роботи блоків та модулів, контакти підключення, глобальних констант та змінних, бібліотек роботи з обладнанням та протоколами програмно-технічного комплексу (ПТК) – функції ConstVars.h та setup():

- налаштування протоколу та контактів підключення модуля зв'язку RS-485 Modbus
- налаштування протоколу та контактів підключення WiFi модуля
- налаштування протоколу та контактів підключення консолі налагодження
- масиву адрес лічильників електроенергії LE-03M
- масив адрес датчиків струму ES-PI-1M
- масиву адрес датчиків напруги ES-PU-1M
- масиву адрес комутаційних силових реле SR-NI
- клавіатури ручного керування навантаженнями Keypad 4x4
- кольорового TFT дисплея з діагоналлю 1.8 дюйма та роздільною здатністю 128 на 160 пікселів

У циклі роботи ПТК проводиться циклічне опитування стану ПТК з можливістю ручного керування одно та трифазними навантаженнями. З періодичністю 20ms проводиться опитування кнопок клавіатури (функція Relay())

При натисканні кнопки “0” відбувається групова зміна стану реле з номерами 0, 1 та 2, що керують трифазним навантаженням L31.

При натисканні кнопок “1”, “2” або “3” відбувається поодинокі зміна стану реле з номерами 4, 5 та 6, що керують однофазними навантаженнями L11, L12, L13 відповідно.

У разі натискання будь-якої кнопки, її код передається у функцію buttonToRelay() для зміни стану відповідних комутаційних силових реле

модуля 8R-NI. Зміна стану реле виконується функцією `relayChangeStateMulti()` відповідно до структури запиту релейного модуля за протоколом RS-485 Modbus, до якого входять:

- адреса модуля
- код команди Modbus
- адреса регістру
- необхідні стани реле
- контрольна сума CRC

Функція `modbusRequest()` робить перемикання приймача-передавача RS-485 в режим передачі, розраховує відповідно до алгоритму CRC16-Modbus контрольну суму (функція `MRTU_CRC()`) і відправляє в послідовний порт Serial1 масив символів запиту для релейного модуля в 16-річному. Приклад запиту:

- 0x1E - адреса модуля
- 0x06 - код команди Modbus
- 0x00
- 0x06 - адреса регістру управління
- 0x00
- 0x00 - потрібні стани реле в двійковому коді (BIN)
- CRC - контрольна сума CRC (CRCL і CRCH)

Модуль комутаційних силових реле 8R-NI по лінії RS-485 отримує запит на зміну станів реле, декодує його, здійснює розрахунок контрольної суми і, при збігу розрахованої та отриманої контрольних сум, здійснює перекомутацію ліній навантаження.

Функція `displayLoad()` формує на екрані на підставі байта станів 8 реле в модулі 8R-NI `relayStateNum` формує зображення станів реле: червоний кружок – реле вимкнено, зелений – увімкнено.

Функція `LE03M()` отримує як параметр масив адрес лічильників електроенергії LE-03M і в циклі проводить опитування накопичених значень

величини спожитої електроенергії в одно-і трифазних навантаженнях.

Структура запиту зчитування поточних значень спожитої електроенергії складається з:

- поточної адреси лічильника
- коду команди Modbus (команда на зчитування реєстру)
- адреси в реєстрі, що здійснює покази спожитої електроенергії
- числа реєстрів для зчитування
- контрольної суми CRC (CRCL і CRCH)

Функція modbusRequest() здійснює перемикання приймача-передавача

RS-485 в режим передачі, розраховує відповідно до алгоритму CRC16-Modbus контрольну суму (функція MRTU_CRC()) і відправляє в послідовний порт Serial1 масив символів запиту для лічильника електроенергії LE-03M річному

коді. Приклад запиту:

- 0x01 - Поточна адреса лічильника
- 0x03 - Код команди Modbus (команда на зчитування реєстру)
- 0x00
- 0x00 - Адреси в реєстрі, що здійснює покази спожитої електроенергії
- 0x00
- 0x03 - Число реєстрів для зчитування
- CRC - контрольна сума CRC (CRCL і CRCH)

Лічильник електроенергії LE-03M по лінії RS-485 отримує запит про кількість спожитої електроенергії, декодує його, здійснює розрахунок контрольної суми і, при збігу розрахованої та отриманої контрольних сум, відправляє до лінії RS-485 повідомлення, до якого входять:

- Адреса пристрою, що надіслав відповідь
- Код команди на яку відповів пристрій
- Число байт у відповіді
- Дані

- контрольна сума (CRCL і CRCH)

Функція `modbusRequest()` здійснює перемикання приймача-передавача RS-485 в режим прийому, приймає пакет даних з послідовного порту Serial1 в масив символів, розраховує відповідно до алгоритму CRC16-Modbus контрольну суму (функція `MRTU_CRC()`) і при збігу розрахованої та отриманої сум формує рядок (функція `printDataW()`) з результатами спожитої електроенергії виведення на індикатор. Приклад відповіді:

У відповідь лічильник посилає повідомлення у вигляді:

- 0x01 - Адреса пристрою, що надіслав відповідь

- 0x03 - Код команди, на яку відповів пристрій

- 0x06 - Число байт у відповіді

- 0x00 - Дані байт 1

- 0x01 - Дані байт 2

- 0x01 - Дані байт 3

- 0x01 - Дані байт 4

- 0x00 - Дані байт 5

- 0x48 - Дані байт 6

- CRC - контрольна сума (CRCL і CRCH)

Виведення на кольоровий TFT дисплей 1.8" 128x160 здійснює функція `displayParam()`, яка у вигляді параметрів отримує сформований рядок та координати для виведення. На рис (3.4.3,3.4.4,3.4.5,3.4.6) представлені блок схеми побудовані на основі описаного вище алгоритму.

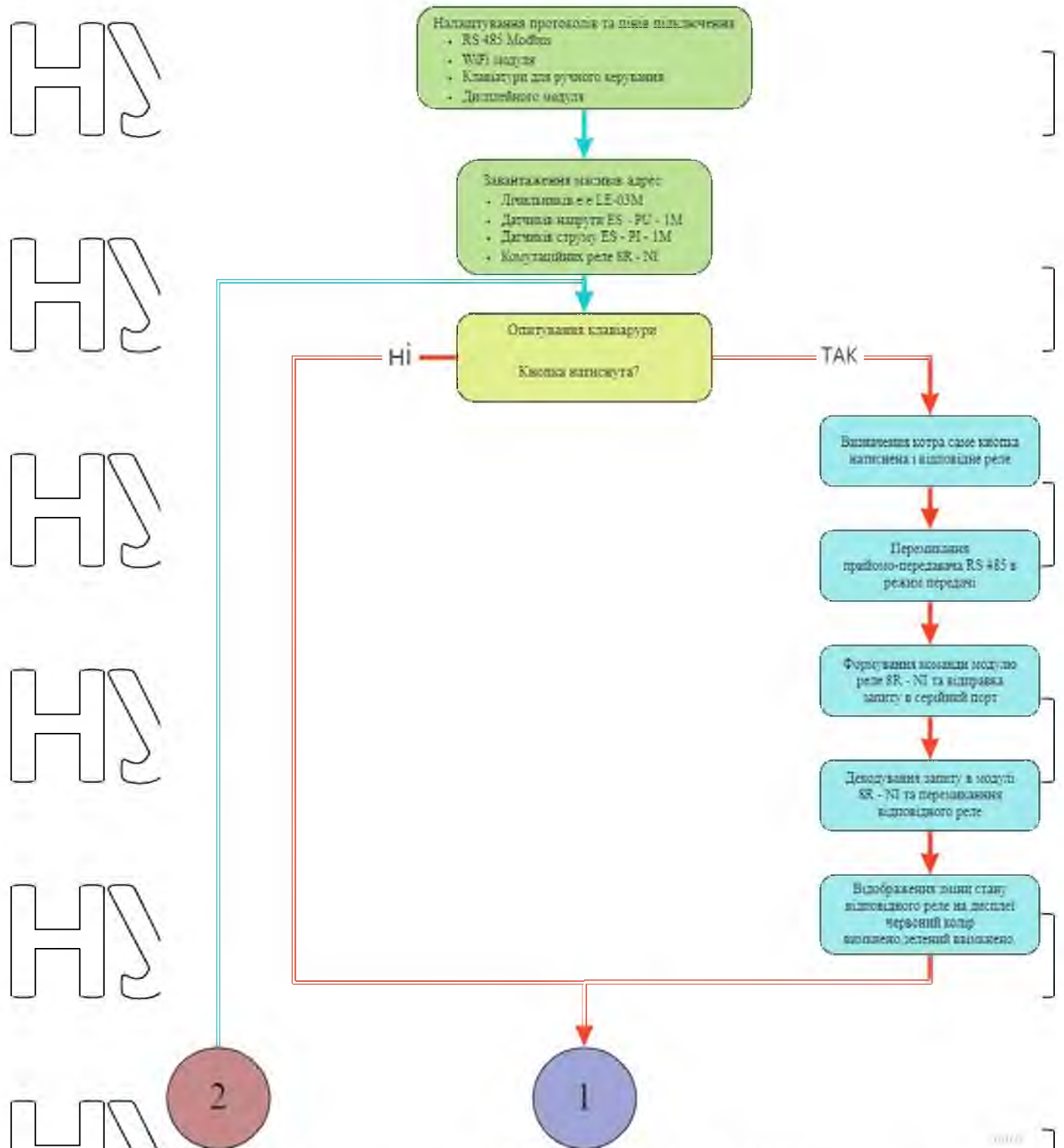


Рис 3.4.3 Блок-схема для ілюстрації описаного вище алгоритму функціонування системи частина.



Рис 3.4.4 Блок схема для ілюстрації описаного вище алгоритму функціонування системи а саме отримання даних від лічильника.

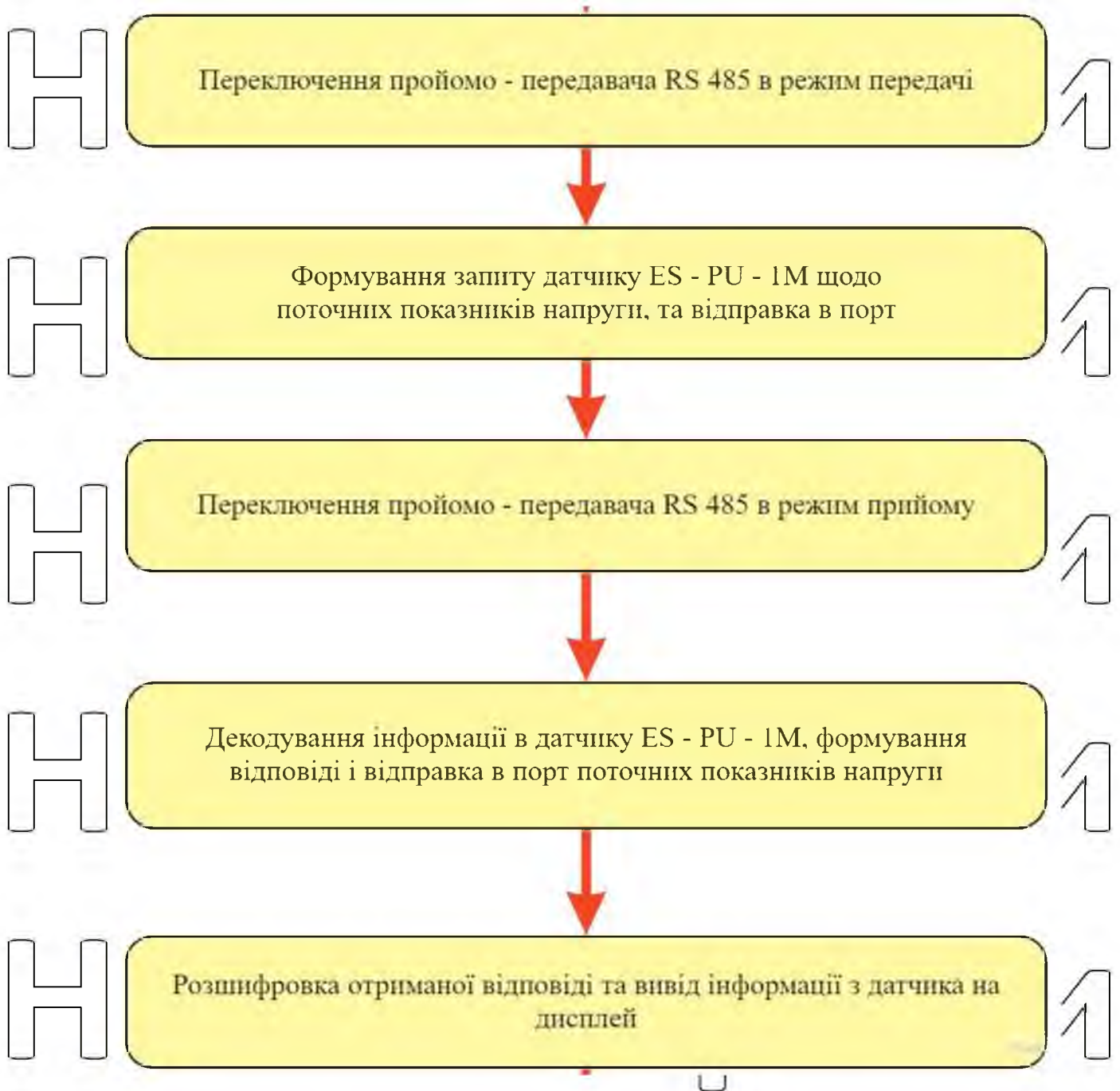


Рис 3.4.5 Блок схема для ілюстрації описаного вище алгоритму функціонування системи а саме отримання даних від вимірювача напруги.

НУБІП України

НУБІП України

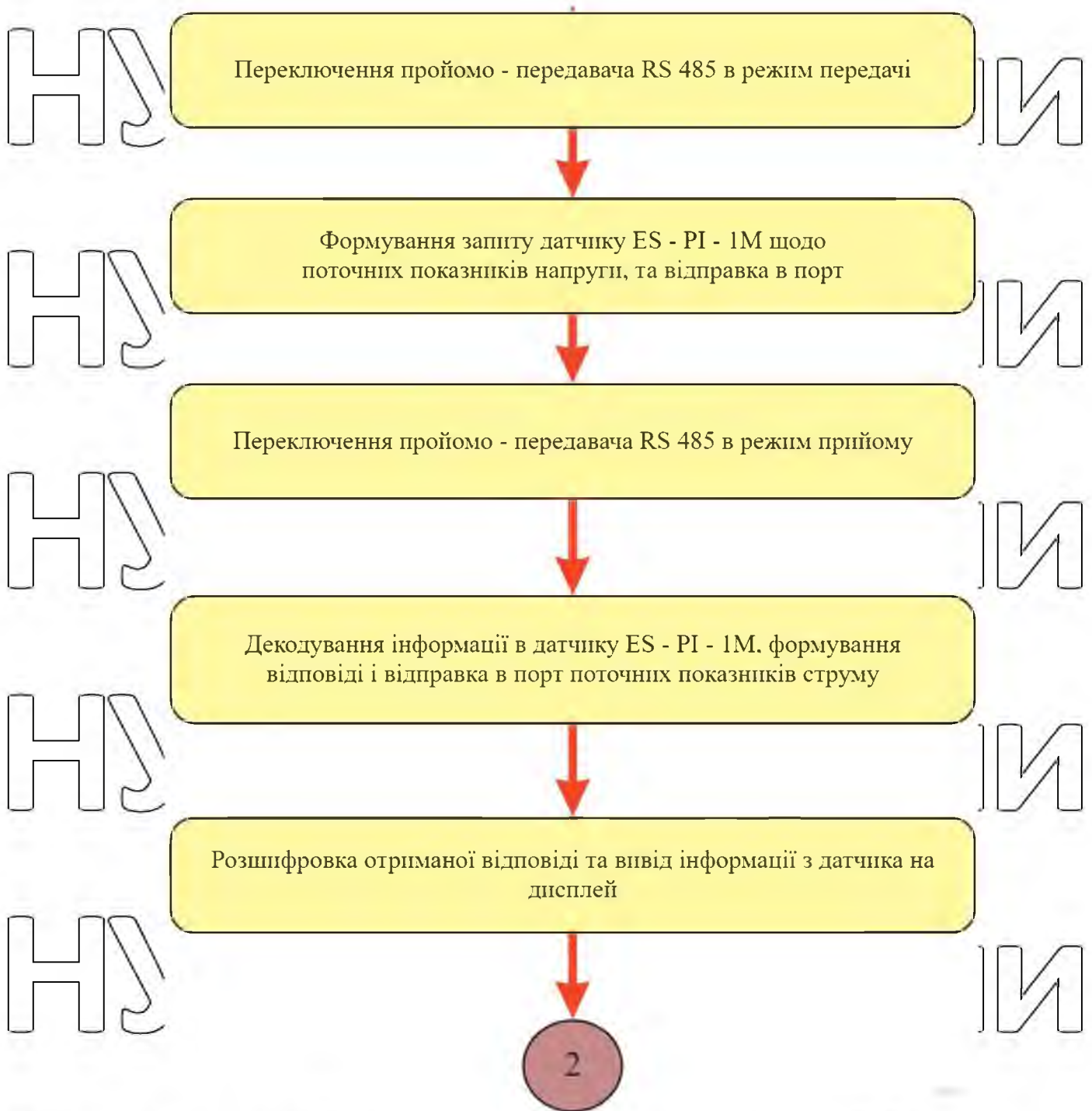


Рис 3.4.6 Блок схема для ілюстрації описаного вище алгоритму функціонування системи а саме отримання даних від вимірювана струму

На основі розробленої платформи та алгоритмів керування, в подальшому буде розроблена частина управління з використанням мережевих ресурсів та формування програмного забезпечення

ВИСНОВКИ

Застосування методу динамічного планування використання енергоресурсів для контролю споживання локальних об'єктів узгоджуючи

попит на електроенергію з змінною вартістю у режимі реального часу - це напрямок для суттєвого підвищення енергоефективності мікроенергетичних систем.

Моделювання ціни електричної енергії в режимі реального часу являються кількісними та якісними характеристиками екологічних, а також економічних чинників котрі позитивно вплинуть на можливості споживача

значно знизити затрати на електроенергію маючи можливість реагувати дивлячись на ціни які змінюються протягом доби. Відсутність розповсюджених та доступних систем енергоменеджменту являється

перешкодою для застосування динамічної тарифікації на електричну енергію.

Вирішенням такого роду проблем є розробка та впровадження системи планування з інтелектуальним керуванням для того, щоб досягти оптимального співвідношення між оплатою та часом очікування споживача коли ціни на енергію будуть відомими.

Саме для розв'язання всіх вищеперерахованих задач було розроблено систему для динамічного енергоменеджменту яка всебічно описується в магістерській роботі. Використання такого програмно – технічного комплексу дозволить споживачу директивно формувати графік споживання

струмоприймачів відповідно до ціни електроенергії на цей момент. І при внесенні коректив в систему вона може пристосована до будь-якого типу живлення чи то централізованого, чи то комбінованого з використання відновлюваних джерел живлення.

В магістерській роботі описується розроблена система для динамічного енергоменеджменту. Використання такого програмно – технічного комплексу дозволить споживачу директивно формувати графік споживання струмоприймачів відповідно до ціни електроенергії на цей момент. І при

внесенні коректив в систему вона може пристосована до будь-якого типу живлення чи то централізованого, чи то комбінованого з використання відновлюваних джерел живлення.

В першому розділі розглянуто стандарти та норми що відносяться до енергетичного менеджменту, зокрема ДСТУ ISO 50001:2020, а також проведено аналіз принципів реалізації систем енергоменеджменту та їх приклад.

В другому розділі представлено теоретичне обґрунтування функціонування систем енергоменеджменту

В третьому розділі представлено детальний опис програмно - технічної платформи та принципи її функціонування. А саме представлена апаратна, функціональна та програмна складові системи.

Застосування розробленої технічної платформи дозволить підвищити надійність, якість та функціональність енергетичної системи локального об'єкту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стандарт ДСТУ ISO 50001:2020
https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf

2. Інженерний менеджмент. За ред. П. Мельника. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 536 с.

3. Каплун В.В. Інноваційні підходи до оцінки ефективності інвестиційних проектів автономних систем електроживлення// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Збірник наукових праць. 2007, №6(38), с.135-139.

4. Abinash Singh, Balwinder Singh Surjan MICROGRID: A REVIEW International Journal of Research in Engineering and Technology Volume: 03 Issue: 02 | Feb-2014

5. Huang, A.Q., Baliga, J. FREEDM System: Role of power electronics and power semiconductors in developing an energy internet // Power Semiconductor Devices & IC's, 2009. ISPSD 2009. 21st International Symposium on Barcelona, 14-18 June 2009, p.9-12, IEEE.

6. Yi Xu, Jianhua Zhang ; Wenyu Wang ; Juneja, A. etc. Energy router: Architectures and functionalities toward Energy Internet /Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2011 IEEE International Conference on Brussels, 17-20 Oct. 2011, p.31 - 36, IEEE.

7. Каплун В. В. Системно-аналітичні засади проектування вітро-сонячних систем електроживлення / В. В. Каплун, В. В. Овстенко, С. С. Яцик // Науковий вісник НУБіП України. Серія “Енергетика і автоматика в АПК”. – 2012. – Вип. 174 (1). – С.130-136.

8. F. Meng, R. Akella, M. L. Crow, and B. McMillin, “Distributed grid intelligence for future microgrid with renewable sources and storage,” in Proc. NAPS, Arlington, TX, USA, Sep. 26–28, 2010, pp. 1–6.

9. V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, "Management and control of domestic smart grid technology," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, pp. 109–119, Sep. 2010.

10. Структурно-параметричний синтез комбінованих систем електроживлення: колективна монографія / кер. кол. авт. і наук. ред. проф. В.В. Каплун, – К.: КНУТД, 2017, – 189

11. Каплун В.В. Синтез сочетания источников и потребителей энергии комплексных автономных систем / Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2008.-№2, -с.73-77.

12. B.-G. Kim, Y. Zhang, M. van der Schaar, and J.-W. Lee, "Dynamic pricing for smart grid with reinforcement learning," in *IEEE CCSES (IEEE NFOCOM Workshop)*, 2014.

13. Borenstein S, Jaske M, and Rosenfeld A (2002). Dynamic pricing, advanced metering, and demand response in electricity markets. Center for the Study of Energy Markets. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/11w8d6m4> [Accessed 21 Sep. 2016].

14. Dang, T., Ringland, K. Optimal load scheduling for residential renewable energy integration. *IEEE 3rd International Conference on Smart Grid Communications, Smart Grid Comm 2012*, 516–521.

15. Dupont B, Jeroen T and Ronnie B (2012). Automated residential demand response based on dynamic pricing. *2012 3rd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, Berlin, 2012, pp. 1–7.

16. Faruqi A, Sergici S and Akaba L (2014). The impact of dynamic pricing on residential and small commercial and industrial usage: New experimental evidence from Connecticut. *The Energy Journal* 35(1):137–160.

17. Holtschneider T and Erlich I (2013). Optimization of electricity pricing considering neural network based model of consumers' demand response. In:

2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG), Singapore, 2013, pp. 154–160.

18. Каплун В. В. Умовний динамічний тариф як критерій ефективності функціонування мікроенергетичних систем локальних об'єктів/ В. В.

Каплун, // Науковий вісник Вісник КНУТД: Серія “Технічні науки”. – 2016. – Вип. №3 (98). – С.50-59.

19. J. K. Delson and S. M. Shahidehpour, “Linear programming applications to power system economics, planning and operations,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 7, no. 3, pp. 1155–1163, 1992.

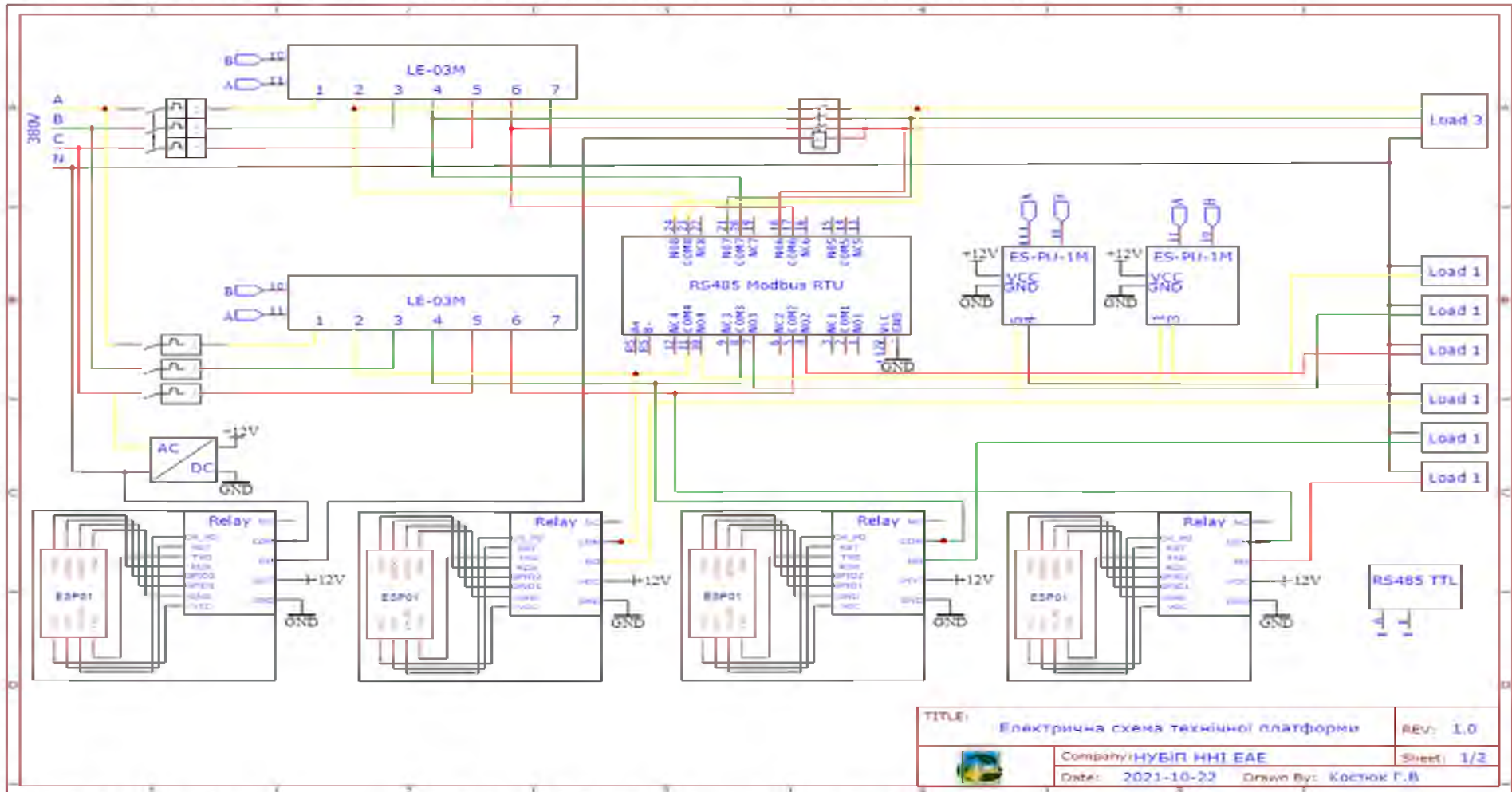
20. Паспортні дані вимірювача напруги <https://es.ua/uk/vim-tyuvalniy-peretvoryuvach-naprugi-es-pu-1m>

21. Управління енергоефективністю локальних систем електроживлення з полігенерацією: колективна монографія/ кер. кол. авт. і наук. ред. д.т.н., проф. В.В. Каплун; Національний університет біоресурсів та природокористування – К.: НУБіП, 2020. – с.

22. Паспортні дані вимірювача струму <https://es.ua/uk/izmeritelnyy-preobrazovatel-toka-es-pi-1m>

Додаток 1

Схема електрична принципова на двох аркушах



НУБІП | УКРАЇНА

