

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
Факультет механізації сільського господарства  
Кафедра електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК

Допущений до захисту:  
завідувач кафедри  
д.т.н. проф. Матвійчук В.А.

---

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

“\_\_\_” листопада 2018 р.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ НІЧНИХ ПРОВАЛІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ АПК**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за спеціальністю 141 – Електроенергетика,  
електротехніка і електромеханіка

Виконав: студент групи ЕІ-17-1м  
Тарнавський Максим Володимирович

---

Керівник: к.т.н., доцент  
Видмиш Андрій Андрійович

---



6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Видмиш А.А к.т.н., доцент кафедри ЕСТА	20.09.2018	20.09.2018

7. Дата видачі завдання « 20 » вересня 2018 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання. Вступ	23.09 – 30.09.18 р.	
2	Розробка електротехнічних розділів	01.10 – 25.10.18 р.	
3	Розробка економічної частини	26.10 – 04.11.18 р.	
4	Розробка розділу з охорони праці	05.11 – 08.11.18 р.	
5	Аналіз виконання ІЗ. Висновки	09.11 – 15.11.18 р.	
6	Оформлення пояснювальної записки	15.11 – 20.11.18 р.	
7	Підготовка доповіді і презентаційного матеріалу	21.11 – 22.11.18 р.	
8	Попередній захист	23.11.18 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ Тарнавський М.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Видмиш А.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

УДК 621. 311.014

## АНОТАЦІЯ

Тарнавський М. В. Дослідження можливостей використання нічних провалів електроспоживання для АПК. Магістерська дипломна робота. Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». ВНАУ, Кафедра ЕСТА, – Вінниця: 2018 – 115 с.

Досліджений потенціал енергоспоживання для розробки в механізмів і засобів зменшення пікового денного енергоспоживання та зменшення нічного провалу енергоспоживання за рахунок раціонального управління.

На основі застосування методів енергоаудиторського аналізу і проведення техніко-економічних розрахунків проведено аналіз енерговикористання. В результаті аналізу обгрунтовано ефективність впровадження комплексу заходів з енергозбереження.

Ключові слова: пікове енергоспоживання енергоефективність, енергозбереження, модернізація, опалення, нічний провал електроспоживання, витрати, економія.

рис.: 29

табл.: 29

бібл.: 22

UDC 621. 311.014

### ABSTRACT

Tarnavsky MV Investigation of possibilities of use of night failures of power consumption for agroindustrial complex. Master Thesis. Specialty 141 "Electricity, electrical engineering and electromechanics". VNAU, ESTA Chair, - Vinnitsa: 2018 - 115 p.

The potential of energy consumption for the development of mechanisms and means for reducing the peak daily energy consumption and reducing the nighttime power consumption due to rational management is researched.

On the basis of application of methods of energy auditing analysis and conducting of technical and economic calculations an analysis of energy use was carried out. As a result of the analysis, the effectiveness of implementing a set of energy saving measures is substantiated.

Key words: peak power consumption, energy efficiency, energy saving, modernization, heating, night power failure, costs, economy.

Fig: 29

Tables: 29

Bib.: 22

## ЗМІСТ

Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА НІЧНИХ ПРОВАЛІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ. ....	12
1.1 Загальні відомості про пікові навантаження та нічні провали електроспоживання .....	12
1.2 Дослідження ефективності електричних мереж з метою підвищення ефективності їх використання в періоди максимумів і провалів .....	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.</b>	
1.3 Оцінка потенціалу кінцевого енергоспоживання теплової та електричної енергії для забезпечення подолання нічних провалів авантаження .....	23
1.4 Основні заходи по зменшенню обсягів нічних провалів .....	32
Висновки .....	33
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ЕНЕРГОАУДИТОРСЬКОГО АНАЛІЗУ .....	34
2.1 Статистичний метод .....	34
2.1.1 Перевірка нормальності розподілу ймовірностей значень отриманих даних .....	34
2.1.2 Визначення довірчих інтервалів .....	35
2.1.3 Дисперсійний аналіз .....	36
2.1.4 Кореляційний аналіз .....	36
2.1.5 Регресійний аналіз.....	39
2.2 Експериментальний метод .....	39
2.2.1 Метод перевірного тесту. ....	40
2.3 Аналітичний метод .....	42
2.4 Метод системного аналізу.....	45
Висновки .....	50

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПОДОЛАННЯ ПРОВАЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МЕТОДАМИ ЕНЕРГОАУДИТОРСЬКОГО АНАЛІЗУ .....	52
3.1 Перевірка ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності.....	52
3.2 Перевірка ефективності системи освітлення .....	60
3.3 Встановлення сенсорів руху .....	63
3.4 Аналіз норм використання теплової енергії та побудова регресійних залежностей .....	66
3.5 Дослідження системи теплоенергопостачання(СТЕП) будівлі з традиційними та відновлювальними джерелами енергії .....	69
3.6 Економічне обґрунтування заходів енергозбереження в їдальні, розміщеній в будівлі. ....	86
3.7 Використання теплонасосної установки (ТНУ).....	89
3.8 Заміна електронагрівання води газовим нагрівом.....	95
3.9 Використання термоголовок для радіаторів.....	101
Висновки .....	103
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	105
4.1 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	105
4.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації діагностичного стенду .....	105
4.2.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць .....	105
4.2.2 Електробезпека.....	108
4.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії .....	109
4.3.1 Мікроклімат .....	109
4.3.2 Склад повітря робочої зони.....	110
4.3.3 Виробниче освітлення .....	111

4.3.4	Виробничий шум.....	113
4.3.5	Виробничі вібрації .....	114
4.3.6	Психофізіологічні фактори .....	115
4.4	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	117
4.4.1	Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань .....	118
4.4.2	Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	119
4.5	Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи енергопостачання в умовах загрозливих чинників НС .....	122
	Висновки .....	123
	ВИСНОВКИ.....	124
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	126
	Додатки.....	129



## ВСТУП

### **Актуальність роботи**

В останні роки негативно на стан енергетики впливає робота в маневровому режимі, що зумовлено «провалом» споживання електроенергії в нічний час. За даними Мінпаливенерго України нічний надлишок потужностей в Україні перевищує 2200 МВт і має тенденцію до зростання. Спад в нічні години пояснюється падінням електроспоживання, зокрема основної частини побутових споживачів. В денний час нерівномірність графіку потребує від системи електропостачання забезпечення електроенергією в години максимумів. У той же час в інші години доби елементи мережі використовуються не повністю. За даними НЕК «Укренерго» розрив між денним піком та нічним «провалом» взимку сягає 7 тисяч МВт. Це рівнозначно потужності 7 ядерних енергоблоків потужністю по 1000 МВт кожен. Відомо, що в сфері енергопостачання протягом доби спостерігаються два піки зростання енергоспоживання: ранішній – з 6.00 до 9.00 – зростання електроспоживання та теплоспоживання за рахунок збільшення гарячого водоспоживання, та, особливо, чутливий вечірній – з 16.00 до 21.00. Період провалу нічного електроспоживання відбувається з 23:00 до 6:00 години доби, коли наявний спад споживання електроенергії, що зумовлений неефективними режимами роботи промисловості, транспорту та інших галузей економіки України в нічний час. Основний шлях раціоналізації режимів полягає у внесенні змін щодо оптимізації добового графіка навантаження за рахунок використання заходів керування енергоспоживанням саме кінцевим споживачем, в даному випадку індивідуально-побутовим. За рахунок зменшення обсягів нічних провалів можливе досягнення істотної гармонізації та вдосконалення існуючої ситуації з браком маневрових потужностей.

Таким чином, оцінка потенціалу споживання теплової та електричної енергії для зменшення пікових навантажень та подолання провалів з метою подальшого ефективного регулювання енергетичних систем кінцевими споживачами ( населенням, промисловістю та АПК) є актуальною задачею.

### **Мета і завдання дослідження**

Метою роботи є дослідження потенціалу енергоспоживання кінцевих споживачів теплової та електричної енергії, для розробки механізмів і засобів зменшення пікового денного енергоспоживання та зменшення нічного провалу енергоспоживання за рахунок раціонального управління ним саме кінцевими споживачами.

### **Об'єкт дослідження**

Об'єктом роботи є енергоспоживання кінцевих споживачів теплової та електричної енергії.

### **Предмет досліджень**

Предметом роботи є дослідження механізмів і засобів зменшення пікового денного енергоспоживання та зменшення нічного провалу енергоспоживання, які впливають на ефективність енерговикористання.

### **Методи дослідження**

При дослідженні системи енерговикористання використовуються такі методи енергоаудиторського аналізу, як статистичний, експериментальний та аналітичний.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

Запропоновано заходи з енергозбереження, які відрізняються тим, що вони отримані в результаті використання методів енергоаудиторського аналізу і дозволяють більш повно показати потенціал зменшення пікового денного навантаження та зменшення нічного провалу енергоспоживання з метою енергозбереження.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Впровадження запропонованих заходів з енергозбереження дозволить підвищити енергоефективність об'єктів та зменшити пікове денне навантаження і нічний провал енергоспоживання.

**Апробація результатів.** Викладені результати досліджень були апробовані на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції,

машинобудування та енергетичних систем АПК», 28-30 листопада (Вінниця, 2017).

**Публікації.** Результати роботи опубліковано в 1 науковій праці:

1. Тарнавський М.В. Оптимізація режимів енергоспоживання насосних агрегатів міської системи водопостачання господарства / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК», 28-30 листопада 2017 року: - Вінниця: Вид-во ВНАУ, 2017. – С. 227-230.

## РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА НІЧНИХ ПРОВАЛІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ.

### 1.1 Загальні відомості про пікові навантаження та нічні провали електроспоживання

Процеси управління виробництвом, передачею і споживанням електричної та теплової енергії, які характеризуються багатьма зовнішніми та внутрішніми факторами, є визначальними з точки зору енергетичної безпеки країни, а тому потребують постійного дослідження та удосконалення, що підтверджується активним розглядом цих проблем у наукових виданнях [1-5].

Однією з характеристик графіка електричних навантажень (ГЕН) є нерівномірність, яка в Україні зумовлюється зростанням споживання побутових, комунальних та аграрних груп без збільшення потужності споживання базових енергоємних промислових виробництв. Добові графіки генерації та споживання електроенергії наведені на рис. 1.1 та 1.2.

Розглянемо нерівномірність споживання електроенергії по годинах доби та по сезонах. У житлових будинках близько 60 % електроенергії витрачається в період між 18 і 22 год; влітку електроенергії витрачається на 15-25 % менше ніж взимку. Добовий графік навантаження електричних мереж має яскраво виражений нерівномірний характер з істотним зростанням навантаження ввечері та вранці і спадом в нічні години.

Швидка зміна електричного навантаження комунально-побутових та аграрних споживачів висуває особливі вимоги до системи виробництва і розподілу електроенергії. Енергосистема повинна забезпечити вироблення і передачу електроенергії з урахуванням навантаження комунально- побутових споживачів. Разом з тим однією з особливостей вироблення електроенергії є її відповідність рівню споживання в кожен момент часу. Енергосистема повинна мати можливість управляти виробленням електроенергії у відповідності до графіка її споживання, що вимагає наявності відповідних мобільних потужностей.

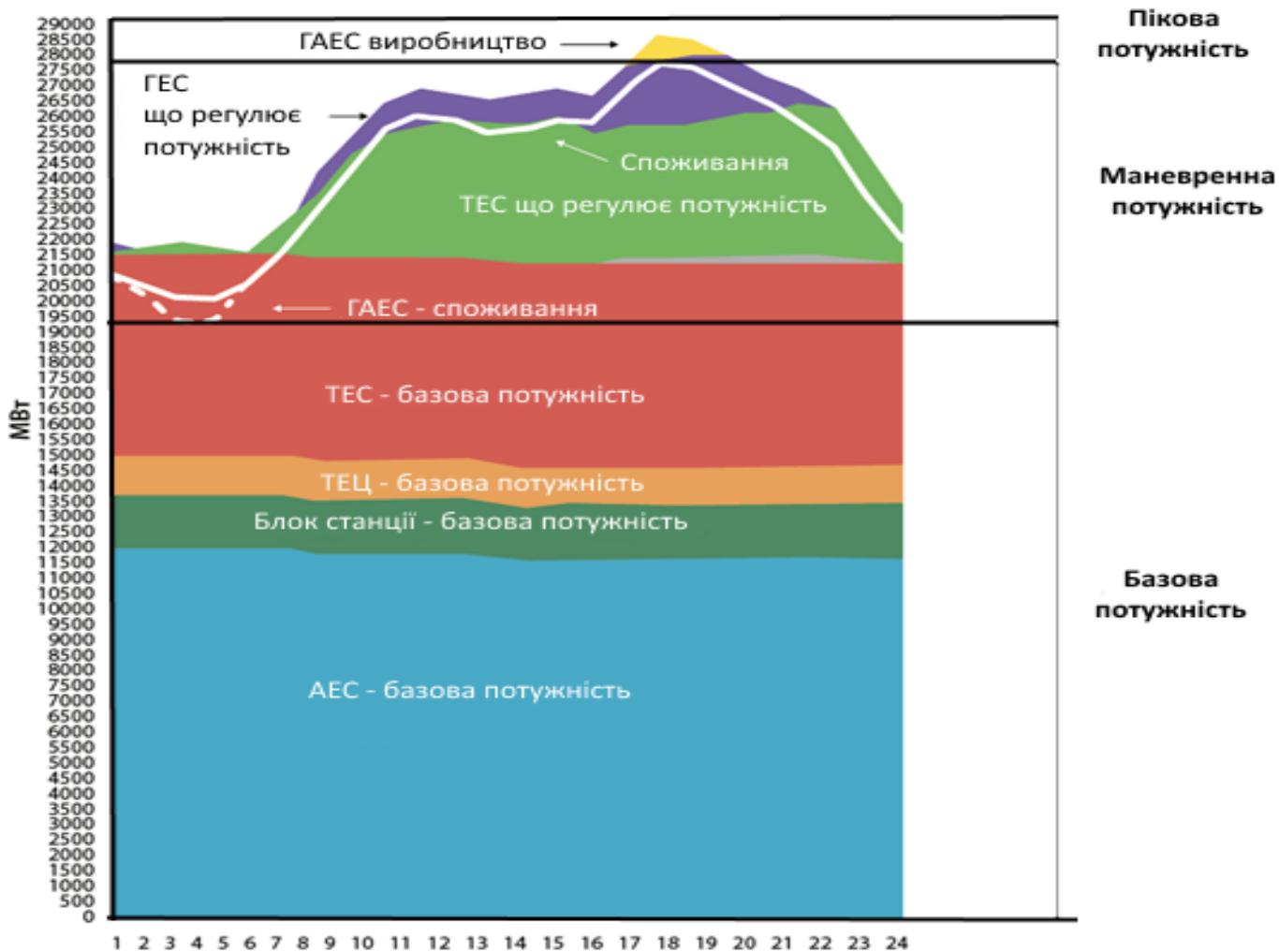


Рисунок 1.1 – Добовий розподіл електроенергії за генерацією

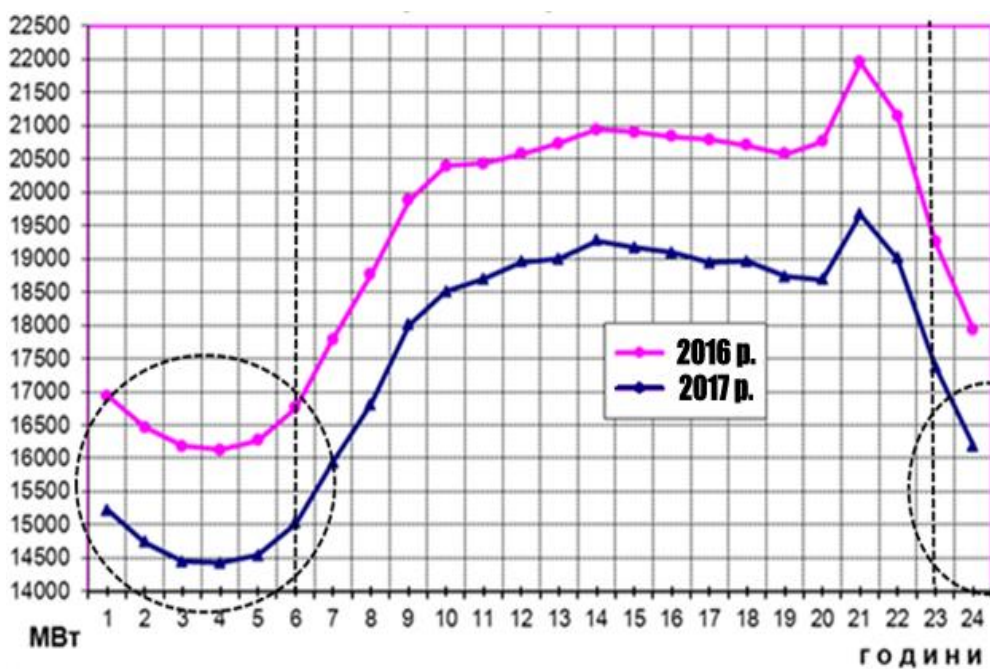


Рисунок 1.2 – Середнє використання електричної потужності по годинах доби в Україні в серпні

В якості таких потужностей використовують ГАЕС, пікові паротурбінні і газотурбінні агрегати та інші установки. Енергоблоки теплових електростанцій, особливо великої потужності, допускають розвантаження не більше ніж на 20%. Робота цих блоків на більш низькій потужності не тільки є технічно важким завданням, але й викликає додаткові витрати палива і зниження терміну служби агрегатів. Перехід на режим номінальної потужності або повторний пуск агрегату після зупинки займає певний час і пов'язаний з перевитратою палива. Ще складніша справа з атомними електростанціями, які в даний час практично не мають можливості знижувати потужність енергоблоків. Тому підвищується можливість вирівнювання графіка навантаження споживачів, в тому числі, комунально-побутових, заповнення нічних знижень графіків навантаження енергоблоків та електричних мереж.

Як паливо на теплових електростанціях України використовують вугілля, газ, мазут. У загальних витратах на виробництво і розподіл електроенергії по мережах системного значення витрати палива складають 35-50 %. Тому при подорожчанні палива ціна на електроенергію зростає повільніше. Дана обставина в ряді випадків виявляється вирішальною при виборі енергоносіїв для житлово-комунального господарства в умовах дефіциту якісного палива.

Вартість на нічну електроенергію, яка виробляється в години провалу графіка навантаження енергосистеми, за трьохставочним тарифом розраховується з урахуванням коефіцієнта 0,4, що є економічним стимулом вирівнювання графіка навантаження та використання нічної електроенергії споживачами і відображає важливість проблеми вирівнювання графіка навантаження енергосистеми, особливо, для районів, розташованих поблизу атомних електростанцій.

На низькотемпературні процеси опалення, водонагріву, вентиляції, кондиціонування витрачається приблизно 90 % корисної енергії. 72 % теплової енергії, що витрачається на низькотемпературні процеси, подається в будинок у вигляді пари та гарячої води від централізованих джерел. Решта покривається за рахунок прямого спалювання палива в квартирних генераторах теплоти.

Використання окремих видів електроопалення та електроводонагріву (акумуляційне) у ряді випадків може знизити витрату електроенергії та підвищити економічність системи електротеплопостачання.

Капітальні витрати крім вартості технологічного обладнання, приладів, їх установки, наладки, перевезення та зберігання враховують витрати, пов'язані із збільшенням потужності генеруючих електростанцій і посиленням електричних мереж всіх напруг, включаючи внутрішньобудинкові.

1.2 Дослідження ефективності електричних мереж з метою підвищення ефективності їх використання в періоди максимумів і провалів

Технічні рішення щодо економного витрачання електроенергії часто вимагають для своєї реалізації установки нового або модернізації існуючого технологічного обладнання та приладів, реконструкції електричних мереж, впровадження засобів автоматизації і управління, організаційних заходів щодо підвищення рівня експлуатації. Критерієм ефективності є приведені витрати, причому в значення річних витрат включають витрати на компенсацію втрат електроенергії в мережах.

Приведені витрати в трансформатори, встановлені у мережах, визначають за виразом:

$$Z_{mp} = (E_n + p_a + p_k) K_{mp} + P_k T_n' z'_{el} (S/S_{ном})^2 + P_x T_n'' z''_{el}$$

де  $K_{mp}$  - вартість трансформатора, включаючи монтажні роботи, додаткове обладнання та будівельну частину;

$S$  і  $S_{ном}$  - розрахункова і номінальна потужність трансформатора;

$P_k$  і  $P_x$  - втрати короткого замикання та холостого ходу трансформатора;

$T_n'$  і  $T_n''$  - час найбільших втрат для змінних та постійних втрат потужності;

$z'_{el}$  і  $z''_{el}$  - питомі витрати на компенсацію змінних та постійних втрат.

Якщо визначити значення  $Z_{mp}$  для всієї шкали номінальних потужностей трансформаторів однієї напруги в залежності від їх завантаження, можна отримати ряд економічних параметрів, точки перегину яких визначають межі економічно доцільного використання розглянутих трансформаторів. Розрахунки, виконані за вказаною формулою, показали, що для трансформатора кожного габариту є певна зона економічного навантаження. Наприклад, трансформатори 10/0,4 кВ номінальною потужністю 100 кВА застосовувати економічно доцільно до навантаження 100 кВА, а трансформатор 160 кВА - в межах навантаження 100- 170 кВА. Трансформатори 400 кВА - в межах навантаження 280-560 кВА (при дотриманні вимоги за перегрівом).

#### *Передача і розподіл електроенергії розподільчими мережами*

Розподільчі електричні мережі є замикаючим елементом системи передачі електроенергії. До елементів цих мереж безпосередньо приєднуються вводи споживачів: житлових будинків, адміністративно-громадських будівель, комунальних підприємств, невеликих переробних підприємств та фермерських господарств.. Побудова електромережі, вибір параметрів електромережних споруд, електричних ліній і способів їх прокладання визначаються вимогами надійності електропостачання, обсягами споживання електроенергії, рівнем електричних навантажень на всіх елементах і характером графіка навантаження споживачів.

Особливість електроспоживання будинків та квартир полягає в його істотній нерівномірності за часом. Основне електроспоживання припадає на вечірні години. Нічне навантаження побутових та комунально-громадських споживачів становить не більше 25 % вечірнього.

При встановленні можливості підключення додаткового споживача до існуючої лінії, ТП або РП, що часто зустрічається в експлуатації, важливо знати існуючий зимовий і літній добовий графіки елементів мережі. Завдяки графікам навантаження можна аналізувати роботу елементів мережі або групи споживачів за окремий проміжок часу, проводити заходи щодо зниження максимуму навантаження, тобто переводити роботу окремих електроустановок



з годин максимуму навантаження енергосистеми на нічні або певні денні години. Для оцінки параметрів міських електромереж застосовують 30-хвилинні графіки навантаження в період зимового максимуму і літнього мінімуму навантаження. Ступінь завантаження електромережевого обладнання, насамперед силових трансформаторів 10/0,4 кВ, визначають за середніми графіками навантаження за кілька діб. Знаючи характер графіків навантаження споживачів, приєднаних до даної ТП, можна вирішувати питання про збільшення завантаження ТП. Систематичний контроль за рівнем навантаження в елементах мереж дозволяє реалізувати заходи щодо економії електроенергії, стежити за динамікою росту навантажень і своєчасно визначати необхідність реконструкції або заміни окремих елементів і електричної мережі в цілому.

Схема електричної мережі визначається складом, потужністю і режимом роботи споживачів, вимогами безперебійності їх електропостачання з урахуванням економічних показників. Досільських мереж відносяться розподільні мережі 10 (6) кВ від збірних шин центрів живлення, понижуючі трансформаторні підстанції (ТП) і розподільні пункти (РП), розподільчі мережі 0,4 кВ до введів споживачів [3].

Масляні трансформатори, встановлені в ТП, працюють з наступним навантаженням:

- в резервованих розподільних мережах в аварійних режимах – до 1,7–1,8 номінальної потужності;
- в нерезервованих розподільних мережах – систематично до 1,5–1,7 номінальної потужності.

Процес постачання споживачів електроенергією характеризується струмом, напругою, потужністю (активною та реактивною) і втратами потужності та електроенергії в елементах мережі. Зміну за часом вказаних величин визначають режими роботи електричних мереж міста. Оскільки графіки навантаження споживачів безперервно змінюються, режим роботи міських електричних мереж є нестационарним. До цього слід додати, що зростання насичення квартир побутовими електроприладами, зміна складу

споживачів електроенергії комунальних і громадських будівель і підприємств викликають перевантаження одних елементів і недовантаження інших, що супроводжується зростанням втрат потужності та електроенергії, перевантаженням елементів мережі, прискоренням старіння ізоляції та виходом з ладу ліній і трансформаторів і може призвести до виникнення аварійних ситуацій.

Нерівномірність добових графіків навантаження комунально-побутових споживачів з підвищенням навантаження у вечірні години та різким зниженням в нічні становить серйозні проблеми перед енергосистемами і знижує техніко-економічні показники роботи міських електричних мереж. Ущільнення графіка навантаження розподільних мереж і трансформаторів дає змішане живлення житлових і комунально-громадських будівель, які мають різні добові графіки навантаження. Однак такі заходи впливають тільки на ущільнення графіка навантаження в денні години.

Велике зростання навантаження у вечірні години викликає збільшення втрат потужності та електроенергії в мережах. Вирівнювання графіка навантаження повинне відбуватися без збільшення розрахункового навантаження в даному елементі (трансформаторі, розподільній лінії, центрі живлення).

Вирівнювання графіка навантаження споживачів з метою поліпшення показників роботи міських мереж може включати:

- перенесення часу роботи устаткування з денних або вечірніх годин на інші години, переважно нічні;
- відключення частини або всього навантаження споживачів в години максимуму;
- зменшення потужності встановленого обладнання зі збільшенням тривалості його роботи;
- застосування спеціальних споживачів-регуляторів, що працюють з примусовим графіком в нічні години [2].

Впровадження заходів з вирівнювання графіка навантаження повинно стимулюватися системою тарифів на електроенергію і бути економічно вигідним не лише для міської електромережі, а й, насамперед, для споживачів.

Як споживачі- регулятори (СР) можна використовувати електроустановки для нагріву води з організованим споживанням електроенергії, теплоаккумуляційні електропечі з примусовим режимом включення в нічні години, насосні станції міського водопроводу, які мають збірні резервуари чистої води та ін.

Заходи щодо вирівнювання графіка навантаження в більшості випадків вимагають додаткових витрат на установку приладів автоматичного підключення електроприймачів в заданому режимі, будівництво акумулюючих ємностей, заміну технологічного обладнання на обладнання з іншими параметрами.

Достатньо ефективним способом регулювання електроспоживання є частотне регулювання одного із агрегатів за умови їх паралельної роботи [19] .

Рівень втрат енергії в розподільних мережах визначається їх параметрами, які закладені при спорудженні мережі, та фактичними режимами роботи споживачів. На втрати енергії в цілому по мережі і її елементах впливає величина і характер зміни електричних навантажень споживачів і елементів мережі.

Для визначення втрат в трансформаторах напругою 10/0,4 кВ необхідно мати такі вихідні дані:

- кількість активної енергії, що надійшла в силові трансформатори ТП за розрахунковий період;
- кількість енергії, що надійшла в мережеві трансформатори;
- максимальне навантаження (струм) в зимовий максимум кожного мережевою трансформатора;

номінальні дані кожного трансформатора (за паспортними даними).

Втрати активної електроенергії в мережевих трансформаторах складаються із змінних та постійних втрат.

За результатами вимірювань в період зимового максимуму розраховують:

- максимальний струм трансформатора;
- кількість активної енергії, що надійшла в абонентські трансформатори;
- характер приєднаного до ТП навантаження.

Характер навантаження оцінюють по співвідношенню денного  $S_D$  і вечірнього  $S_B$  максимумів:

$S_D / S_B < 0,36$  - комунально-побутове;

$S_D / S_B > 1,41$  - виробниче навантаження переважно з однозмінною роботою;

$S_D / S_B = 0,36 \div 1,4$  - змішане навантаження.

Відомо, що оптимальна загрузка трансформаторів, що працюють в режимі постійного включення, становить 75 % номінальної і більше. Такий режим завантаження приблизно відповідає рівності втрат холостого ходу і короткого замикання. Зниження втрат електроенергії в малозавантажених трансформаторах можна досягти шляхом підключення до них СР з регульованим споживанням потужності.

*Якість електроенергії та шляхи її підвищення.*

Обмежене застосування трансформаторів з пристроями РПН на ЦП призводить до того, що в години максимуму навантаження напруга у споживачів стає нижче номінального значення, а в години провалу графіка – рівень напруги перевищує номінальний на величину до 12 %.

Як вже було сказано, електричні навантаження мають добову і сезонну нерівномірність. Зниження навантаження влітку викликає підвищення напруги у споживачів, збільшення взимку – зниження її.

У цьому разі істотну роль у зміні напруги на затискачах електроприймачів відіграє характер графіка електричних навантажень. Тому додатковим способом підвищення якості електроенергії слід вважати вирівнювання графіка, перенесення часу роботи енергоємного устаткування з

годин максимуму [1]. Таку роботу енергопостачальні організації повинні проводити систематично.

Частково компенсувати ці зміни напруги можна підключенням СР з організованим споживанням електроенергії, зокрема, за рахунок її використання у системах гарячого водопостачання.

#### *Нагрів води електроенергією.*

Більше 50 % населення нашої країни забезпечується гарячою водою від централізованих джерел: ТЕЦ, районних, квартальних і будинкових котельних. Для отримання гарячої води для господарських потреб і особистої гігієни застосовують також стаціонарні електроводонагрівачі (ЕВН). Вони підрозділяються на проточні та ємнісні.

Проточні ЕВН призначені для нагріву води при її безпосередньому використанні в процесі нагрівання. Для отримання високих температур при великій витраті гарячої води, потужність таких приладів повинні бути значною. Це тягне за собою посилення внутрішньоквартирних, внутрішньобудинкових, і в меншій мірі, зовнішніх електричних мереж.

Ємнісні ЕВН (ЄЕВН) мають робочий бак, в якому поступово нагрівається вода. За часом використання нагрітої води ЄЕВН, в свою чергу, поділяються на швидкодіючі (ШЕВН) і акумуляційні (АЕВН). ШЕВН - прилад з ємністю бака 5-10 л, в якому відбувається спочатку нагрів води, а потім повне її втрачання. АЕВН є пристроєм, бак якого має шар теплоізоляції, що забезпечує можливість тривалого нагрівання води з високим ККД і потім її тривале збереження в нагрітому стані. Для АЕВН місткістю 40-100 л в якості нагрівачів застосовують трубчасті електронагрівачі (ТЕНи) потужністю 1,25 і 2 кВт.

АЕВН принципово відрізняються від проточних і ємнісних швидкодіючих ЕВН. Навантаження двох останніх видів ЕВН потрапляє в максимум навантаження енергосистем, викликаючи необхідність збільшення генеруючих потужностей і посилення всіх ланок системи електропостачання. Короткий час використання ПЕВН і ШЕВН збільшує нерівномірність графіка

електричного навантаження, погіршуючи економічні показники роботи електричних мереж.

Електричні мережі існуючих житлових будинків не розраховані на масове застосування ємнісних ЕВН, тому їх установка може здійснюватися тільки в незначному числі квартир (в межах 2-5 %) і тільки з дозволу енергопостачальної організації.

Впровадження ЕВН у великій кількості в багатоповерхових житлових будинках в даний час економічно недоцільно, оскільки це пов'язано з великим електроспоживанням ЕВН і необхідністю посилення електричних мереж.

Запропоновані СР, а саме, електроустановки для нагріву води з організованим споживанням електроенергії можуть споживати електроенергію у нічні або денні години зниження навантаження міських електромереж та енергосистеми. Даний захід не викликає необхідності збільшення перерізу внутрішньобудинкової проводки, тому що електроустановка для нагріву води підключається до ТП, а споживачі безпосередньо отримують гарячу воду.

Нагрівати воду можна до  $90^{\circ}\text{C}$ , за рахунок чого, як наслідок, зменшити обсяг бака. Завдяки його теплоізоляції температура води знижується дуже повільно. Для раціонального витрачання електроенергії зазначені електроустановки для нагріву води працюють в режимі автоматичного управління.

Головною метою енергозбереження має стати пріоритет підвищення ефективності використання електричної енергії в АПК. Раціональне використання електроенергії залежить від комплексу заходів спрямованих на зниження втрат при експлуатації систем електропостачання, до яких входить вирівнювання графіку навантаження.

Підвищення або зниження напруги в мережі електропостачання, через нерівномірність графіка навантаження, впливає на роботу побутових електроприладів, зменшуючи в більшості випадків термін їх служби, а також веде до збільшення витрати електроенергії в багатоквартирному будинку.

Для того щоб споживач безперебійно отримував електричну енергію високої якості, необхідно систематично спостерігати за роботою електричної мережі, знижувати втрати електроенергії в малозавантажених трансформаторах, що можливо завдяки підключенню СР з регульованим споживанням електроенергії.

1.3 Оцінка потенціалу кінцевого енергоспоживання теплової та електричної енергії для забезпечення подолання нічних провалів авантаження

Загальновідомо, що в Україні є потужний споживач енергії – населення, яке для забезпечення власних потреб – створення належного клімату в будівлях, санітарно-гігієнічні потреби, приготування їжі, інші господарські потреби – щорічно використовує до 50...55 млн. у.п. для отримання теплової енергії та 40...45 млрд. кВт·годин електроенергії. І це при тому, що в при дуже низьких температурах у нас присутні т.з. «недотопи» систем теплозабезпечення, в більшості міст відсутнє централізоване гаряче водопостачання, незначні обсяги охолодження (кондиціювання) приміщень в літній час, наявні «віялові» відключення електроенергії.

Протягом останніх років кількість споживачів групи населення скоротилась на 12 % – це 11950 абонентів, що, в основному, має політичну складову через зменшення статистики по зоні АТО та по АР Крим, при цьому характеристики ГЕН залишились майже не змінними (табл. 1). Графік електричного навантаження в режимний зимовий день 2014-2017 років (рис. 1) групи споживачів «побутового навантаження» вказує на нерівномірний попит на електричну енергію, а тому група населення може досить суттєво впливати на ГЕН і має значний потенціал впливу на управління електроспоживанням.

Таблиця 1.1 – Значення характеристик графіка електричного навантаження споживачів (групи населення) 2014 -2017 рр.

Рік	Коефіцієнт нерівномірності	Коефіцієнт внеску	Коефіцієнт впливу	Коефіцієнт заповнення ранковий	Коефіцієнт заповнення вечірній
2014	0,489	0,413	0,84	0,948	0,761
2015	0,560	0,428	0,98	0,957	0,8
2016	0,489	0,425	0,82	0,933	0,768
2017	0,530	0,445	0,78	0,931	0,792

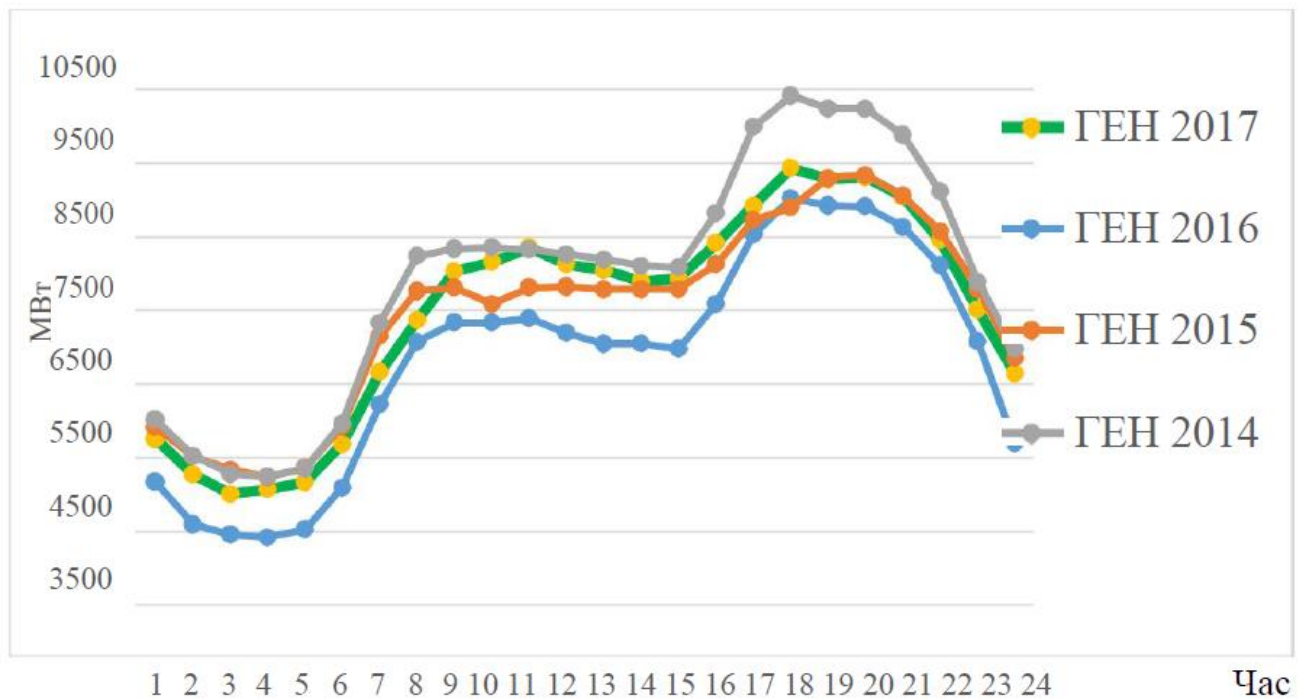


Рисунок 1.3 – Графік електричного навантаження споживачів 2014-2017 рр.

Динаміку споживання електричної енергії в Україні, в т.ч. населенням, показано в табл. 1.2., яка характеризується поступовим зменшенням по відношенню до попередніх років.



Таблиця 1.2 – Споживання електричної енергії в Україні (млн. кВт·годин)

	2013 р.	2014 р.	%(- зниження +приріст від попереднього року)	2015 р.	% (- зниження + приріст від попереднього року)	2016 р.	% (- зниження + приріст від попереднього року)
Споживання електричної енергії всього(брутто областей)	157342,1	149694,1	-4,9	132275,2	-11,6	131479,4	-0,6
Населення	38735,4	38972,2	0,6	36480	-6,4	35917,3	-1,5

Обсяг споживання електроенергії споживачами, які розраховуються за трьохзонними диференційованими тарифами, у 2017 році склав 31762,1 млн. кВт·год., у тому числі населенням спожито 825,657 млн. кВт·год (рис.1.4). При цьому загальна кількість споживачів становить 102244, у т.ч. населення – 87442, з якого 36302 споживачів проживають у сільській місцевості. У 2016 році спожито 32403,0 млн. кВт·год., у тому числі населенням – 773,350 млн. кВт·год. При цьому загальна кількість споживачів становить 101743, у т.ч. населення – 86293, з якого 38840 споживачів проживають у сільській місцевості.

На основі річних звітів Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг та [9,10], представлено графічні залежності для чотирьох категорій споживачів у містах і селищах міського типу (рис. 1.4) і споживачів у сільській місцевості (рис. 1.5).

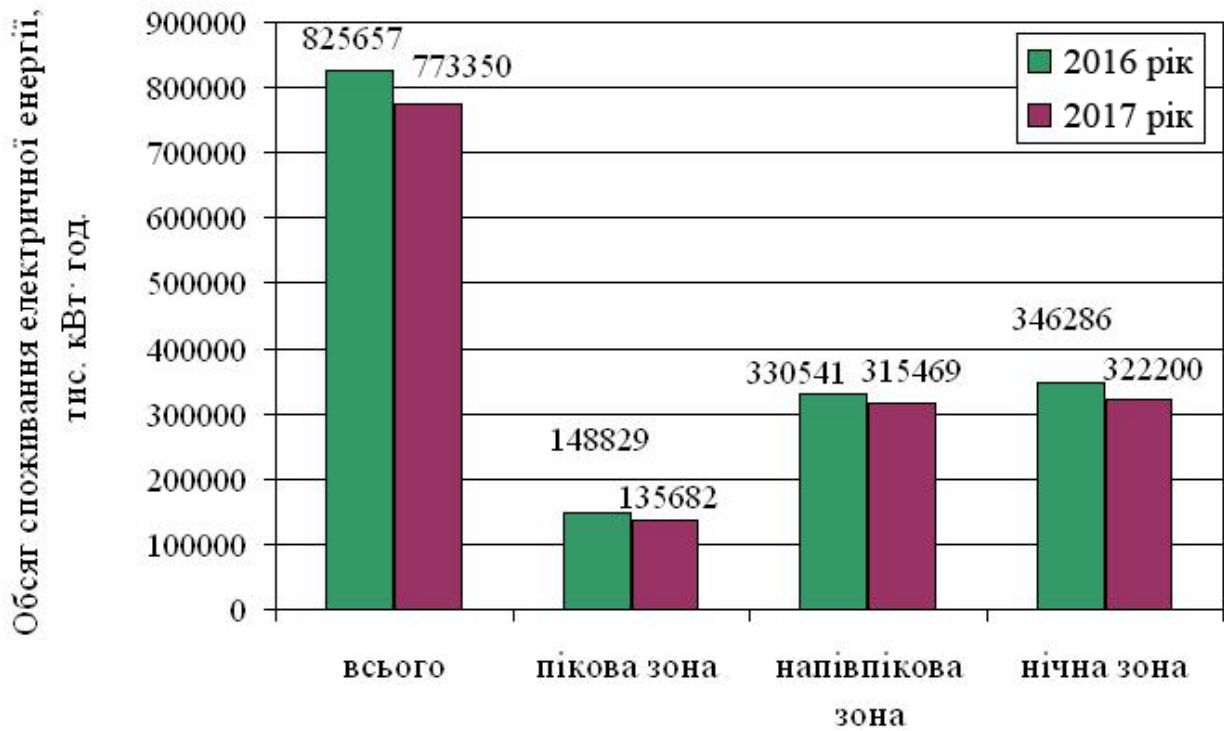


Рисунок 1.4 – Обсяги споживання електроенергії населенням за трьохзонними диференційованими тарифами

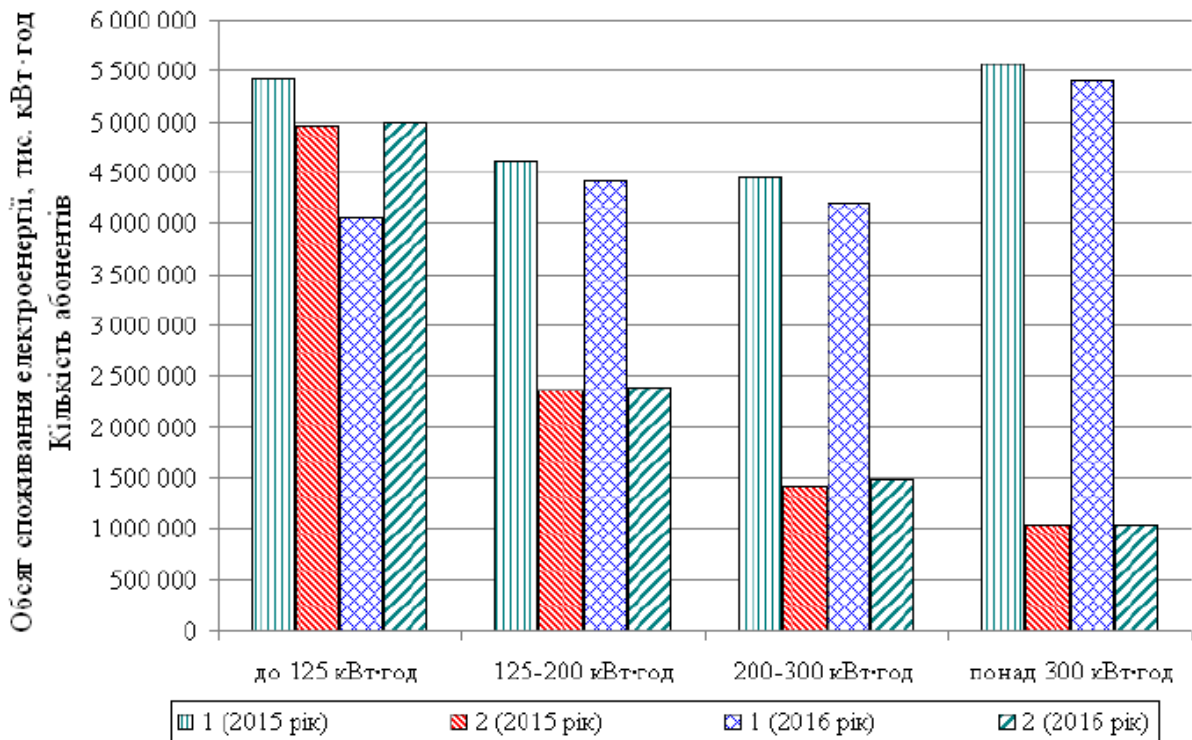


Рисунок 1.5 – Обсяги споживання електричної енергії населенням у містах і селищах міського типу: 1 – споживання електроенергії; 2 – кількість абонентів

З рис. 1.5 видно, що найбільша кількість абонентів - у категорії споживачів до 125 кВт·год, при цьому обсяг споживання електроенергії становить 5430035 тис. кВт·год (2015 р). Схожою за обсягами споживання є категорія споживачів понад 300 кВт·год, але там кількість абонентів є значно меншою.

Стосовно споживання електричної енергії населенням у сільській місцевості (рис. 1.6) можна побачити, що найбільша кількість абонентів – у категорії споживачів до 150 кВт·год (2016 рік) та у категорії споживачів до 125 кВт·год (2017 рік). У будь-якому випадку у кожній категорії споживається значна кількість електричної енергії саме населенням і це споживання відбувається нерівномірно протягом доби.

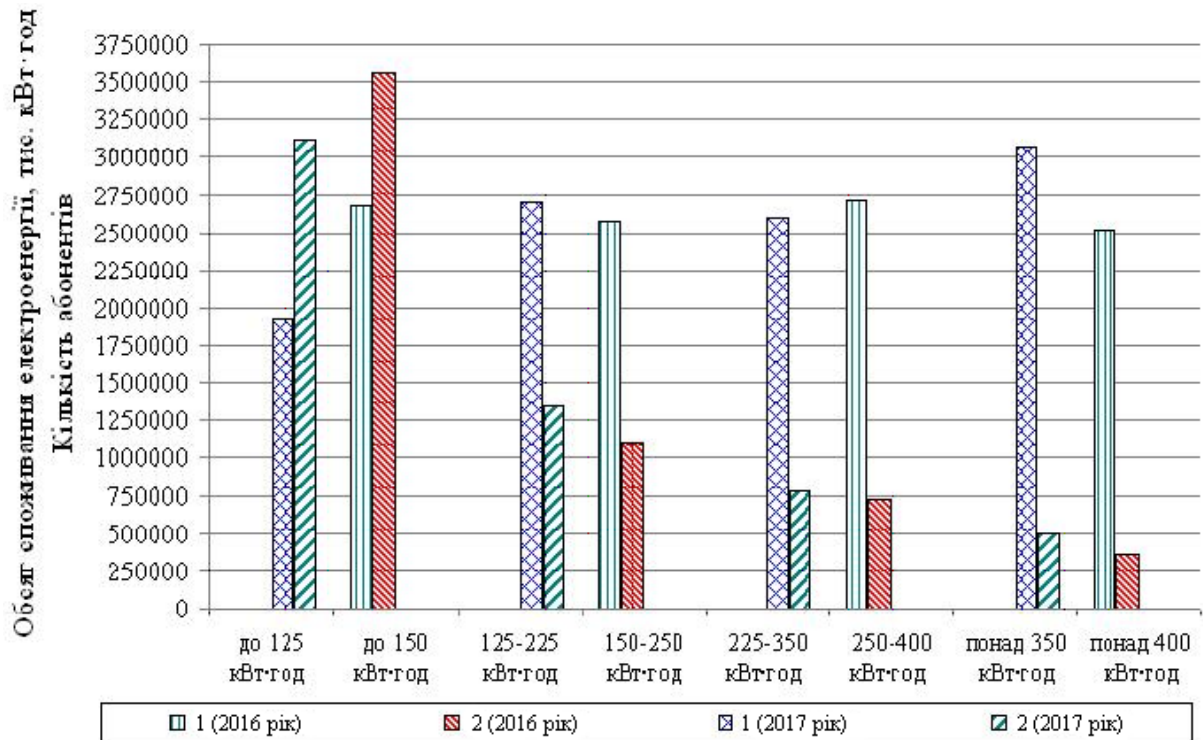


Рисунок 1.6 – Обсяги споживання електричної енергії населенням у сільській місцевості: 1 – споживання електроенергії; 2 – кількість абонентів

У зв'язку зі значним споживанням електроенергії населенням вдень, і майже відсутністю споживання вночі, здійснимо оцінку забезпеченості

населення електричними побутовими товарами, за допомогою яких частково можна було б скоротити провал нічного енергоспоживання. Розглядалися товари з можливістю програмування автоматичної експлуатації, а саме пральні машини, посудомийні машини та кондиціонери. Протягом 2015-2017 рр. в сільській місцевості, як і в містах, спостерігається підвищення рівня забезпеченості обраними побутовим електроустаткуванням (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Наявність запрограмованих побутових товарів-споживачів електричної енергії в домогосподарствах

Так у 2015 році 86,1% домогосподарств мали у користуванні пральну машину, 0,5% посудомийну машину та 7,5% кондиціонер . У 2017 році рівень забезпеченості пральними машинами виріс на 1,6 % і становив 87,7 %, посудомийними машинами на 0,3 % – 0,8 %, кондиціонерами на 1,4 % – 8,9 %.

Динаміка росту запрограмованих побутових товарів-споживачів електричної енергії в сільських домогосподарствах поки, що відстає від міських, але позитивна динаміка чітко відслідковується.

Також до побутових товарів – споживачів електроенергії відносяться електричні водонагрівачі. Соціальними дослідженнями встановлено, що 50% куплених водонагрівачів призначені для заміни старих, 50% – заново встановлені. Згідно статистики найбільш поширеним типом електричних водонагрівачів, що продаються, є водонагрівачі об'ємом 50-80 л. Потужність таких установок за даними виробників складає 1,5 кВт, тривалість циклу нагріву – 2 години 30 хвилин. Таким чином, в Україні встановлена потужність електричних водонагрівачів накопичувального типу складає оцінково 1,5 ГВт, і ці водонагрівачі, за умови програмування їх включення в нічних час для акумулювання теплової енергії для потреб гарячого водопостачання, можна розглядати як потужний ресурс для регулювання режимів ОЕС України.

В цілому побутова та регулююча автоматизована техніка є потужним джерелом покриття нічних провалів електроспоживання (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Загальна потужність побутової та регулюючої автоматизованої техніки (оцінково)

№	Назва устаткування	Одинична електрична потужність, кВт	Загальна кількість, шт.	Час роботи, години	Обсяг використання ел.енергії, ГВт·годин
1	ІТП з електрокотлами	150	5 000	Весь нічний час	5,250
2	Електробойлери-накопичувачі	1,5	5 000 000	2,5	18,75
3	Пральна машинка	1	12 000 000	1	12,0
4	Реверсивні кондиціонери	0,5 (середня)	2 500 00	Весь нічний час	8,8
5	Посудомийні машини	1	100 000	1	0,1
6	Твердотільні електричні теплонакопичувачі				оцінюється
7	електричні теплонакопичувачі на ефекті фазового переходу				оцінюється
	<b>Разом</b>				<b>44,9</b>

Обсягу нічного споживання електроенергії в 45 ГВт·годин відповідає середня потужність 6,5 ГВт, що цілком достатньо для покриття нічного провалу.

Щодо споживання теплової енергії в Україні, то відомо, що централізованим тепlopостачанням охоплені споживачі, до яких входять промислові споживачі, споживачі непромислової сфери та житлово-комунальні споживачі. На рис. 1.8 показано динаміку зміни та кількість споживачів теплової енергії за роками.

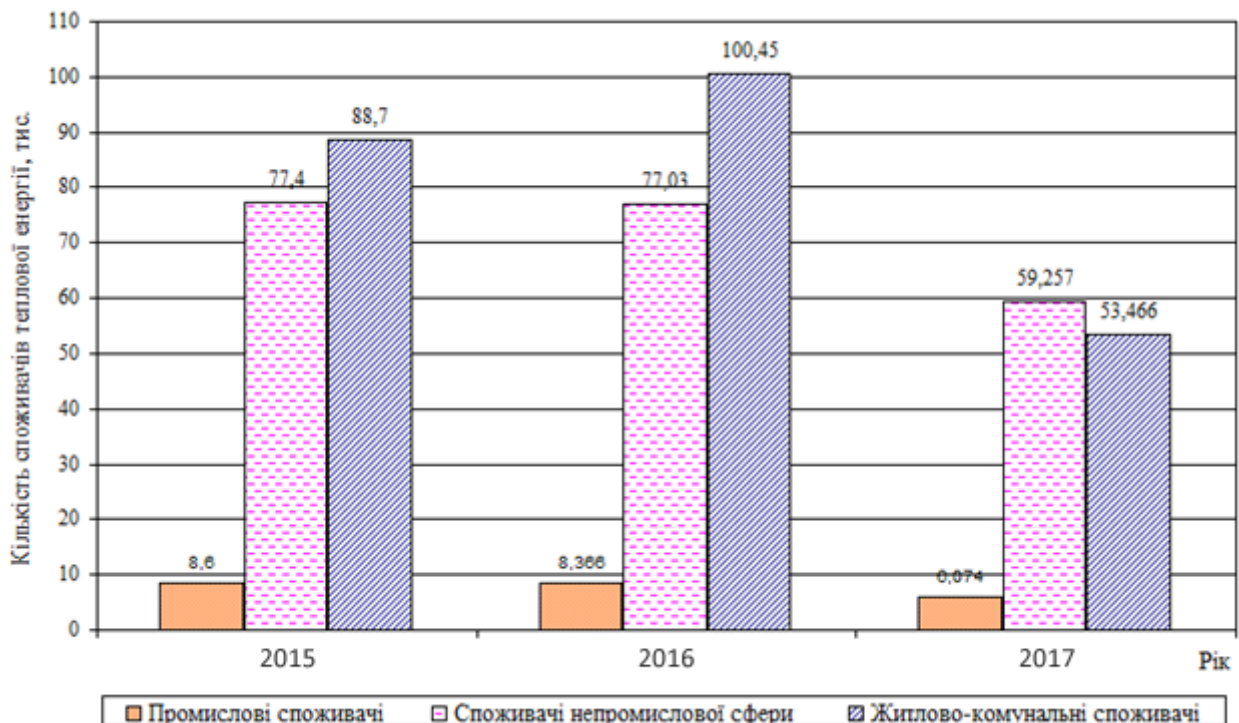


Рисунок 1.8– Структура споживачів теплової енергії

Встановлено, що найбільші обсяги теплової енергії споживається житлово-комунальними споживачами (рис. 1.9), тому саме в них є значний потенціал щодо ефективного регулювання використання теплової енергії, в том числі із використанням електроенергії для тепlopостачання в час нічного провалу.

За даними державної служби статистики України, встановлено, що населенню відпускається теплової енергії в середньому за рік близько 63% від загальної кількості (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Відпуск теплової енергії в Україні (тис. Гкал) по роках.

Відпущено теплової енергії споживачам, тис. Гкал	В тому числі:					
	населенню		на комунально- побутові потреби		на виробничі потреби	
	тис.Гкал	%	тис. Гкал	%	тис. Гкал	%
2016 рік						
79639,0	49745,3	62,5	19628,4	24,6	10265,3	12,9
2017 рік						
62848,6	39483,6	62,8	15396,7	24,5	7968,3	12,7

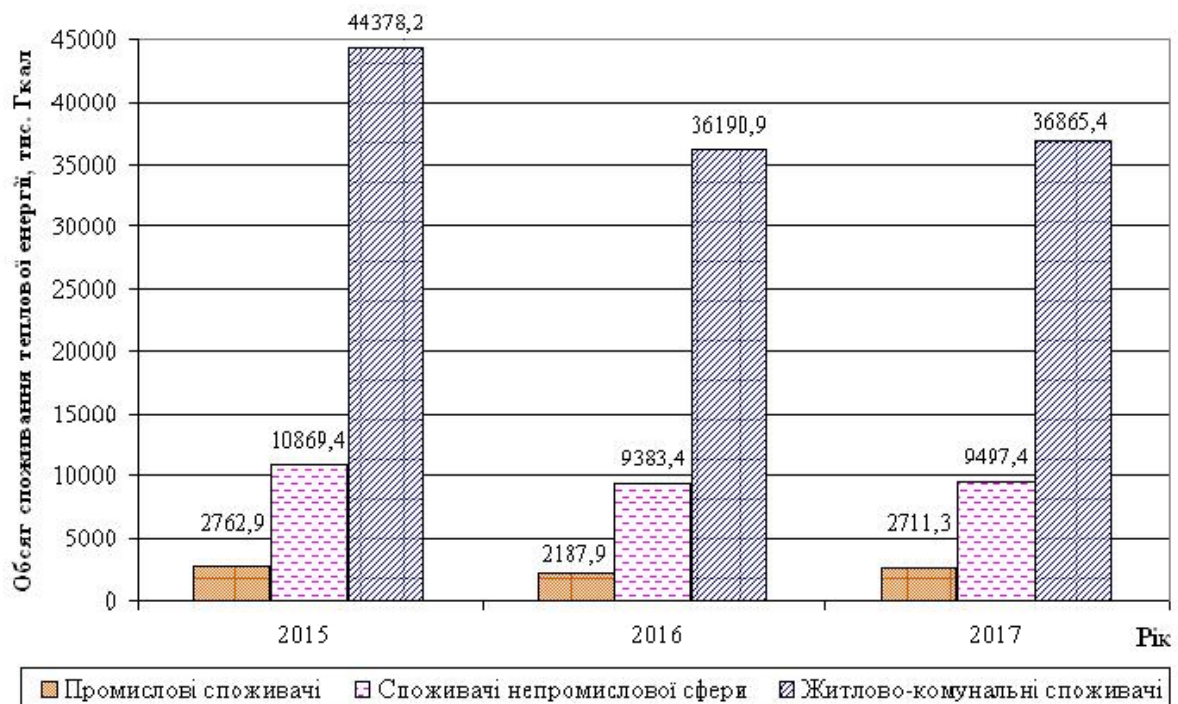


Рисунок 1.9 – Обсяги споживання теплової енергії

При цьому зазначимо, що одним з ефективних заходів зменшення провалу нічного електроспоживання в будівлях, що оснащені індивідуальними тепловими пунктами, є запрограмований перехід ІТП в нічний час на використання електричних котлів для потреб опалення. Це, у свою чергу, дозволять частково зменшити нічний провал споживання електричної енергії шляхом переходу в нічний час на опалення будівель за допомогою лише електричних котлів.

#### 1.4 Основні заходи по зменшенню обсягів нічних провалів

На основі аналізу попередніх матеріалів можна запропонувати систему заходів по активному використанню енергії в нічний час, що забезпечить зменшення обсягів нічних провалів.

##### ● ВДОСКОНАЛЮВАЛЬНІ

1. Перегляд тарифної політики та перехід роботи економіки (підприємств) в нічний час доби.
2. Зміщення графіків завантажень енергосистеми. Переведення найбільш електроємних технологічних процесів на підприємствах на нічний час.
3. Перенесення часу роботи побутового устаткування з денних або вечірніх годин на години нічного провалу електроспоживання.

##### ● ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ

1. Використання гідроаккумуляційних: ГЕС, ГАЕС і в тому числі малих ГЕС.
2. Підвищення маневрових можливостей енергетичної системи шляхом впровадження теплових насосів – регуляторів.
3. Використання гідролізу води з подальшим отриманням водню і кисню та їх зберігання в резервуарах.
4. Застосування спеціальних споживачів-регуляторів, що працюють з примусовим графіком в нічні години.
5. зменшення потужності встановленого обладнання з одночасним збільшенням тривалості його роботи.

##### ● СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ

1. Залучення до керування електросистемою кінцевого споживача, зокрема населення
2. Застосування маневрового режиму АЕС.



## ● МІЖНАРОДНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ КООПЕРАЦІЇ

1. З Європейським Союзом.
2. З країнами, що не входять до складу ЕС.

### Висновки

Проведено аналіз середнього споживання електричної енергії України та встановлено категорії споживачів, як у містах, так і в сільській місцевості, у яких обсяг споживання електроенергії є найбільшим. Показано динаміку зміни та кількість споживачів теплової енергії за роками та встановлено, що найбільші обсяги теплової енергії споживається населенням, тому саме в цій сфері є значний потенціал щодо ефективного регулювання електроспоживання за рахунок використання теплової енергії для побуту. На основі залежностей обсягів споживання теплової та електричної енергії здійснено оцінку обсягів і потужності наявної в населення електричної побутової техніки і ступінь її автоматизації для подальшого розроблення заходів щодо ефективного регулювання споживанням електричної енергії, зокрема в час нічного провалу.

## РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД МЕТОДІВ ЕНЕРГОАУДИТОРСЬКОГО АНАЛІЗУ

### 2.1 Статистичний метод

Статистичний метод – метод аналізу динаміки процесів енергоспоживання шляхом оброблення статистично зібраних даних як підприємством так і енергоаудиторами.

#### 2.1.1 Перевірка нормальності розподілу ймовірностей значень отриманих даних

У випадку, коли енергоаудитор ставить за мету перевірити можливість застосування методів математичної статистики під час аналізу зібраних ним даних, він повинен перевірити гіпотези про нормальний розподіл ймовірностей їхніх значень.

Перевірку можна здійснити за декількома критеріями. Серед них варто відзначити критерії Колмогорова,  $\chi^2$ ,  $\omega^2$ . Разом з тим вказану перевірку можна здійснити за допомогою значень параметрів асиметрії та ексцесу, що найчастіше і відбувається [1].

Параметр асиметрії використовуються у випадку потреби охарактеризувати ступінь асиметричності кривої розподілу.

Оцінка асиметрії та ексцесу здійснюється за формулами:

$$\tilde{S}_k = \frac{m_3}{s^3}; \quad \tilde{E}_x = \frac{m_4}{s^4} - 3, \quad (2.1)$$

де  $m_3$  та  $m_4$  – вибіркові центральні моменти 3- та 4-го порядків;  $s^3$ ,  $s^4$  – оцінки середнього квадратичного відхилення 3- та 4-го ступенів відповідно.

В свою чергу, вибіркові центральні моменти можуть бути розраховані за формулами

$$m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^3; \quad m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^4; \quad (2.2)$$

$$s^3 = \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \right)^3; \quad s^4 = \left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2} \right)^4.$$

Гіпотеза про те, що закон розподілу є нормальний відкидається, якщо

$$\left| \tilde{S}_k \right| > \left| S_{k_\alpha} \right|; \quad \tilde{E}_x < E_{x_\alpha^-} \quad \text{або} \quad \tilde{E}_x > E_{x_\alpha^+}. \quad (2.3)$$

Критичні значення  $S_{k_\alpha}$  та  $E_{x_\alpha^-}$ ,  $E_{x_\alpha^+}$  для імовірностей  $\alpha = 0,01; 0,05$

наведено в таблицях, наприклад в [1].

### 2.1.2 Визначення довірчих інтервалів

У випадку, коли закон розподілу є нормальний і є оцінка абсолютного відхилення  $\varepsilon$ , за значенням одного зі спостережень  $x_i$  можна визначити довірчий інтервал, в межах якого з вірогідністю  $p$  знаходяться значення випадкової величини  $X$

$$x_i - \varepsilon \leq \theta \leq x_i + \varepsilon, \quad (2.4)$$

Під час обробки спостережень, аудитор для задання меж довірчого інтервалу може використати квантильні межі.

Квантиль  $v$  – це таке значення випадкової величини  $X$ , при якому  $P\{x < v\} = p$ . Квантилі стандартного нормального розподілу позначаються як  $u$ ; їх значення наведені в [1]. Стандартний нормальний розподіл – такий розподіл, за якого середнє значення математичного очікування  $a = 0$ , а середнє значення стандарту  $\sigma = 1$ . Квантиль може бути виражений, як

$$v = a + \sigma \cdot u, \quad (2.5)$$

де  $u$  – квантиль стандартного розподілу.

Якщо задана вірогідність  $p$ , то квантилі знаходяться в таких межах:

$$\frac{v_{1-p}}{2} \leq \theta \leq \frac{v_{1+p}}{2}, \quad (2.6)$$

де  $\frac{v_{1-p}}{2}, \frac{v_{1+p}}{2}$  – квантилі загального нормального розподілу.

### 2.1.3 Дисперсійний аналіз

Дисперсійним аналізом називається такий аналіз, при якому на основі дослідження дисперсії вивчається вплив змінного фактору або групи факторів на випадкову величину. Під час аналізу вважають, що випадкова величина розподілена нормально та її дисперсія стала при всіх можливих значеннях факторів, що цікавлять. Під час дослідження використовують інструмент, який називається критерій Фішера  $F$  або критерій відношення дисперсій.

Дисперсійний аналіз дозволяє порівнювати математичні очікування для будь-якого числа незалежних вибірок.

### 2.1.4 Кореляційний аналіз

Кореляційний аналіз – аналіз, який полягає на вивченні усередненого закону поведінки кожної з розглянутих випадкових величин залежно від значень іншої величини, а також у міру залежності між розглянутими величинами.

Міра залежності між величинами  $x$  і  $y$  характеризується коефіцієнтом кореляції або кореляційним відношенням, що є математичне очікування добутку їх нормованих відхилень:

$$r_{xy} = M \left( \frac{x-a}{\sigma_x} \cdot \frac{y-b}{\sigma_y} \right), \quad (2.7)$$

де  $a, b$  – центри розподілу величин  $x$  та  $y$ ;

$\sigma_x, \sigma_y$  – середні квадратичні відхилення відповідних величин.

$a = Mx; \quad b = My.$

Коефіцієнт кореляції може також бути записаний, як:

$$r_{xy} = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \cdot M[(x-a) \cdot (y-b)] \quad (2.8)$$

або

$$r_{xy} = \frac{M(xy) - Mx \cdot My}{\sigma_x \cdot \sigma_y}. \quad (2.9)$$

Величина  $M[(x-a) \cdot (y-b)]$  називається кореляційним моментом або коваріацією. Його позначають  $K_{xy}$  або  $\text{cov}(x,y)$ .

Кореляційний момент – це математичне очікування добутку відхилень величин  $x$  та  $y$  від їх математичних очікувань:

$$\begin{aligned} K_{xy} &= M \cdot [(x - M_x) \cdot (y - M_y)] = M \cdot [x \cdot y - M_x \cdot y + M_y \cdot x] = \\ &= M(xy) - M_x \cdot M_y + M_x \cdot M_y - M_y M_x = M(xy) - M_x M_y. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт кореляції визначають за виразом

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}. \quad (2.10)$$

*Властивості коефіцієнта кореляції:*

1. При  $r_{xy} = \pm 1$  прямі регресії  $x$  по  $y$  та  $y$  по  $x$  співпадають і має місце лінійна функціональна залежність.
2. Якщо між  $x$  та  $y$  наявна лінійна функціональна залежність, то  $|r_{xy}| = 1$  через те, що обидві лінії регресії повинні співпадати з графіком функції.
3. Якщо  $r_{xy} = 0$ , то  $x$  та  $y$  некорельовані і прямі регресії паралельні осям координат.
4. Якщо  $x$  та  $y$  некорельовані і прямі регресії паралельні осям координат, то  $r_{xy} = 0$ .
5. Чим ближче  $r_{xy}$  до одиниці, тим тісніше кореляційний зв'язок між  $x$  та  $y$ .

*Властивості кореляційного відношення:*

1. За наявності функціонального зв'язку між  $x$  та  $y$  кореляційне відношення дорівнює одиниці. При цьому розсіювання поблизу регресії  $y(x)$  відсутнє  $\left(\overline{\sigma^2}[y/x] = 0\right)$ , оскільки єдине можливе значення  $y$  при даному  $x$  співпадає з  $y(x)$ .
  2. Якщо кореляційне відношення дорівнює одиниці, то  $y$  буде однозначною функцією  $x$ .
- З  $\eta[y/x] = 1$  виходить, що  $\overline{\sigma^2}[y/x] = 0$ , а значить розсіювання поблизу лінії регресії відсутнє, тобто кожному значенню  $x$  відповідає одне певне значення  $y$ , яке дорівнює  $y(x)$ .
3. Якщо величини  $x$  і  $y$  некорельовані, то кореляційне відношення дорівнює нулю.

При цьому  $y(x) = \text{const} = m_y$  і  $\overline{\sigma^2}[y(x)] = 0$ , а це значить, що і  $\eta[y/x] = 0$ . Зокрема,  $\eta[y/x] = 0$ , коли  $y$  не залежить від  $x$ .

4. Якщо кореляційне відношення дорівнює нулю, то величини  $x$  і  $y$  некорельовані.

Дійсно, при  $\eta[y/x] = 0$  буде  $\overline{\sigma^2}[y(x)] = 0$ , а значить  $y(x) = \text{const} = m_y$ .

Чим ближче  $\eta[y/x]$  до одиниці, тим тісніше кореляційна залежність, тим більшу роль у зміні  $y$  відіграє  $x$ , тобто  $\sigma^2[\bar{y}(x)]$ ; чим ближче  $\eta[y/x]$  до нуля, тим кореляційний зв'язок слабкіший, тим більшу роль відіграє розсіювання  $y$  поблизу  $y(x)$  при даному значенні  $x$ , тобто  $\sigma^2[y/x]$ . Можна довести, що завжди справедливі співвідношення:

$$\eta[y/x] \geq |r_{yx}|; \quad \eta[y] \geq |r_{xy}|. \quad (2.11)$$

Очевидно, що якщо одне з відношень  $\eta[y/x]$  або  $\eta[x/y]$  дорівнює нулю, то  $r_{xy} = 0$ .

### 2.1.5 Регресійний аналіз

Регресійний аналіз – аналіз, який дозволяє на основі статистичних даних встановити вигляд зв'язку між випадковими величинами через визначення коефіцієнта кореляції. Розрізняють лінійну та нелінійну регресійну залежність.

Сутність методу полягає в розповсюдженні закону зміни функції з області її спостереження на область, що лежить поза межами спостереження. Можливим є використовувати різні функції для прогнозування зміни показників у часі. Прикладом таких функцій можуть бути: лінійна функція; парабола; поліном третього ступеня; гіпербола.

Одним із найпоширеніших методів пошуку найкращого вигляду лінії регресії є метод найменших квадратів.

## 2.2 Експериментальний метод

Експериментальний метод – метод аналізу стану енергоспоживання шляхом проведення експериментів з використанням засобів вимірювань.

### 2.2.1 Метод перевірного тесту.

Метод перевірного тесту заснований на спостереженні за зміною рівня енергоспоживання після вимкнення приладів [2]. У мережі, де кілька користувачів енергії приєднані до одного лічильника, цей прийом використовується для знаходження кількості енергії, що використовується одним або групою споживачів.

Якщо кілька енергоспоживачів живляться від одного вимірюваного джерела, індивідуальне споживання енергії кожним із споживачів може вимірюватися шляхом вимкнення різних навантажень з подальшим шляхом вимкнення різних навантажень з подальшим спостереженням за зміною величини енергоспоживання.

У випадку, якщо на об'єкті є декілька видів споживачів, що працюють із сталим навантаженням під час дослідження, то визначити потужність кожного з них можна з використанням перевірного тесту. Цей метод заснований на спостереженні за показами засобів вимірювання під час ввімкнення або вимкнення одного з навантажень. Наприклад, споживачами цеху є силове навантаження і освітлення, які живляться від розподільчого пристрою з одним аналоговим лічильником технічного обліку типу СА4У-И672М (рис. 2.1). Необхідно визначити фактичну потужність кожного з видів навантаження.

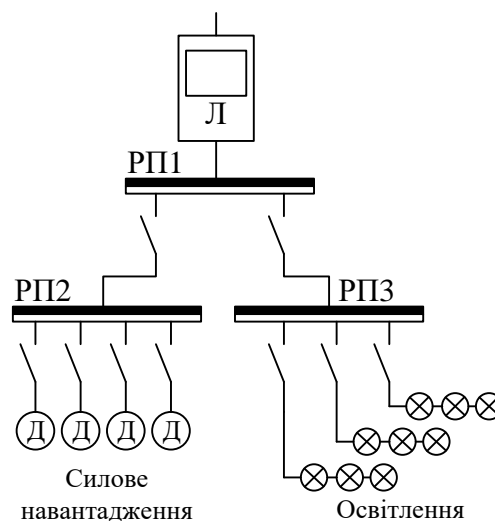


Рисунок 2.1 – Використання перевірного тесту для визначення потужності навантаження



Нехай під час увімкнених силовому та освітлювальному навантажень диск лічильника обертається з частотою  $n=10$  об/хв. Параметр лічильника  $T=450$  об. диска/кВт·год. Лічильник підключений через вимірювальний трансформатор струму з коефіцієнтом трансформації  $k_{ВТС}=10$ . Середня потужність усього навантаження за період вимірювання визначається за формулою

$$P_{\text{сум}} = \frac{n \left( \frac{\text{об}}{\text{хв}} \right) \cdot 60 \left( \frac{\text{хв}}{\text{год}} \right) \cdot k}{\Pi \left( \frac{\text{об}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \right)}, \quad (2.12)$$

$$P_{\text{сум}} = \frac{10 \cdot 60 \cdot 10}{450} = 13,3 \text{ (кВт)}.$$

Коли вимкнули освітлення і залишили увімкненим силове навантаження, диск лічильника почав обертатися з частотою  $n=8$  об/хв. В такому випадку потужність силового навантаження:

$$P_{\text{сил}} = \frac{8 \cdot 60 \cdot 10}{450} = 10,7 \text{ (кВт)}.$$

Тоді, потужність освітлювального навантаження:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{сум}} - P_{\text{сил}}, \quad (2.13)$$

$$P_{\text{осв}} = 13,3 - 10,7 = 2,6 \text{ (кВт)}.$$

Якщо є споживачі з електронними лічильниками, то під час дослідження використовується параметр – (кількість імпульсів)/кВт·год. і підраховується кількість імпульсів за хвилину.

### 2.3 Аналітичний метод

Аналітичний метод – метод дослідження процесів енергоспоживання з використанням математичного аналізу як під час проведення вимірювань, так і під час формування енергоаудиторських висновків.

- Похибки вимірювання і їх оцінювання

Вимірювання – це процес, у результаті якого визначається значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Результатом вимірювання є деяке число прийнятих для даної фізичної величини одиниць, яке дає кількісну інформацію відносно властивостей вимірюваної фізичної величини.

Для виконання вимірювань потрібно мати міри і вимірювальний прилад.

Міра – це дійсне відтворення одиниці вимірюваної фізичної величини з визначеною заздалегідь точністю.

Вимірювальний пристрій – засіб вимірювань, який призначений для видачі кількісної інформації відносно вимірюваної величини в доступній для сприймання формі.

За формою отримання результату вимірювання поділяються на;

- прямі;
- непрямі;
- сукупні.

За терміном проведення розрізняють такі види вимірювань

- разові;
- періодичні;
- безперервні з обмеженням у часі;
- безперервні з періодичною видачою інформації.

За кількістю одночасно вимірюваних показників одного характеру на

- одноточкові;
- багатоточкові.

За кількістю одночасно вимірюваних показників різного характеру на

- однофункціональні;

– багатофункціональні.

За кількістю одночасно задіяних агрегатів, споживачів енергії на

– одноагрегатні;

– багатоагрегатні.

За характером вимірювального процесу на

– статичні;

– динамічні.

Під час прямих вимірювань вимірюване значення фізичної величини визначається безпосередньо з експериментальних даних у більшості випадків під час проведення енергетичного аудиту використовуються прямі вимірювання.

Під час непрямих вимірювань вимірюване значення фізичної величини за результатами прямих вимірювань інших величин, пов'язаних із шуканою величиною відомою математичною залежністю, непрямі вимірювання використовуються під час проведення енергетичного аудиту.

Під час сукупних вимірювань вимірювані значення декількох фізичних величин, отриманих на основі прямих і непрямих вимірювань інших величин при різних їх сполученнях, визначаються шляхом послідуочого розв'язання системи рівень; сукупні вимірювання можуть використовуватися в окремих випадках.

Разові одноточкові однофункціональні вимірювання проводяться для перевірки правильності роботи існуючого на підприємстві устаткування, для отримання показників одного параметра статичного режиму роботи окремого споживача енергії.

Разові одноточкові багатофункціональні вимірювання пов'язані з використанням спеціальних вимірювальних приладів.

Разові багатоточкові однофункціональні вимірювання дозволяють визначити розподіл загального енергоспоживання по окремих складових, що характерно для складання балансу енергоспоживання.

Періодичні вимірювання використовуються для статичного процесу з метою точного визначення середньої величини, а також для побудови графіка роботи динамічного процесу за визначений інтервал часу.

Безперервні вимірювання з обмеженням у часі використовуються для установок із циклічним режимом роботи зі змінним динамічним режимом протягом циклу, при цьому вимірювання можуть мати багатофункціональний характер.

Безперервні вимірювання з періодичною видачою інформації дають загальну характеристику енергоспоживання як по окремому об'єкту, так і по його підрозділах, і в більшості випадків забезпечуються автоматизованими керованими системами контролю.

Під час статичних вимірювань вимірювана величина приймається не залежною від часу, тобто беззмінною, в крайньому разі, протягом терміну вимірювань.

Метою динамічних вимірювань є визначення миттєвих значень фізичних або їх зміни в часі.

– Методи виключення грубих похибок.

Грубі похибки вимірювань (промахи) можуть сильно спотворити величини середнього значення, СКВ та довірчий інтервал, тому їх виключення з результатів вимірювань обов'язкове.

Існує ряд критеріїв для оцінки промахів.

Критерій 3G. В цьому випадку вважається, що результат, який виникає з вірогідністю  $P \leq 0,003$ , малоімовірний і його можна кваліфікувати промахом, тобто сумнівний результат  $x_i$  відкидається, якщо

$$\left| \bar{x} - x_i \right| > 3G.$$

Величини  $x$  та  $G$  обчислюють без урахування  $x_i$ . Даний критерій надійний при кількості вимірювань  $n \geq 20, \dots, 50$ .

Якщо  $n < 20$ , доцільно застосовувати критерій Романовського.

При цьому обчислюють відношення  $\left| \frac{\bar{x} - x_i}{G} \right| = \beta$  і набуте значення  $\beta$  порівнюють з теоретичним  $\beta_T$  – при вибраному рівні значущості  $P$  за таблицею 1.

Таблиця 2.1 – Значення рівня значущості  $\beta_T = f(n)$

Вірогідність P	Кількість вимірювань						
	n=4	n=6	n=8	n=10	n=12	n=15	n=20
0,01	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,02	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,05	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,10	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Звичайно вибирають  $P = 0,01 - 0,05$ , і якщо  $\beta \geq \beta_T$ , то результат відкидають.

#### 2.4 Метод системного аналізу

Термін служби систем теплоенергопостачання (СТЕП) складає 20 і більше років. Він включає етапи вибору конфігурації, проектування і модернізацію вибраної конфігурації СТЕП в процесі експлуатації. Кожний етап має свої задачі і міру невизначеності початкової інформації, відповідно яким розробляються методи досліджень і оптимізації СТЕП. Задача вибору конфігурації СТЕП сформульована як задача визначення потужності джерел теплоенергопостачання різних типів при заданій загальній потужності системи. Критерієм якості варіанта системи СТЕП є числове значення комплексного критерію, складовими якого є частинні критерії оцінок екологічних, медичних, економічних та соціологічних показників. Математична модель будується за методикою системного аналізу. В цьому методі міра невизначеності вхідної інформації знижується експертом в діалозі з ПК. Метод системного аналізу дозволяє порівнювати СТЕП з різними джерелами теплової та електричної енергії (котельні, газопоршневі двигуни, сонячні колектори, теплові насоси та

ін.) в умовах, коли точні дані з техніко–економічних показників джерел невідомі.

Задачею попередніх досліджень з багатоваріантного аналізу СТЕП є визначення доцільної комбінації з можливих джерел теплової та електричної енергії. Сутність методу системного аналізу в наступному.

Нехай у відповідності до конкретної проблеми встановлена ієрархія цілей і сформований набір критеріїв  $x_1, x_2 \dots x_n$ . Нехай  $x_1$  є значення (рівень) критерію  $X_1$ , тоді задача полягає в тому, щоб побудувати конкретну функцію корисності  $U(x) = U(x_1, x_2 \dots x_n)$ , яка залежить від  $n$  змінних.

Основна властивість, яка характеризує функцію корисності  $U$ , полягає в наступному: якщо є два розподілу ймовірностей  $A$  і  $B$  на множині багатомірних наслідків  $\tilde{x}$ , ймовірний розподіл  $A$ , по крайній мірі, не гірший, а ніж  $B$ , в тому випадку, коли

$$E_A[U(\tilde{x})] \geq E_B[U(\tilde{x})], ; \quad (2.14)$$

де  $E_A$  та  $E_B$  позначають звичайні оператори математичного очікування, які застосовані до розподілів  $A$  і  $B$ .

$$E_A[U(x)] = \int_{R_n} U(x) f_A(x) dx; \quad (2.15)$$

$$E_B[U(x)] = \int_{R_n} U(x) f_B(x) dx; \quad (2.16)$$

де  $f_A(x)$ ,  $f_B(x)$ – функції густин ймовірностей, задані в  $n$ –мірному евклідовому просторі  $R_n$ .

Застосування методу значно спрощується при незалежності критеріїв по корисності. Визначення умов незалежності розглянемо для випадку двох факторів  $Y$  і  $Z$ . Позначимо довільну точку в просторі факторів через  $(y, z)$ . Припустимо, що:

$$y^0 \leq y \leq y^*; \quad z^0 \leq z \leq z^*. \quad (2.17)$$

Зафіксуємо  $Z_0$  і визначимо функції корисності для різних значень  $y$ . Далі зафіксуємо  $Z$  на іншому рівні, наприклад,  $Z'$  і знову визначимо функції корисності для попередньо вибраних  $y$ . Якщо функції корисності співпадають, можна казати про незалежність критерію  $U$  від  $Z$  по функції корисності. Незалежність критеріїв визначається за процедурою, яку ми розглянемо на прикладі критерію  $U$ . Суть процедури полягає у відповіді на питання: “Якщо значення  $z$  зафіксоване на рівні  $z^0$ , то яке значення  $y$  можна вважати рівноцінним лотереї, побудованій на рівномірних результатах  $y_1$  і  $y_2$ ?”. Припускається, що відповіддю є значення  $\hat{y}$ , таке, що:

$$(y, z^0) \approx \begin{cases} (Y_1, Z_0) \\ (Y_2, Z_0) \end{cases} \quad (2.18)$$

тобто  $y$  є детермінованим еквівалентом лотереї  $50 \cdot 50$

Тоді задається друге питання: “Якщо  $z$  зафіксоване на другому рівні, наприклад,  $z'$ , чи змінюється вказане значення детермінованого еквівалента  $\hat{y}$ . При позитивних відповідях на це питання для декількох рівнів  $z$  функції корисності  $U(y, z^0)$  та  $U(y, z)$  стратегічно еквівалентні. Аналогічно досліджується незалежність  $Z$  по корисності від  $U$ .

При незалежності критеріїв можлива проста адитивна форма запису функції корисності:

$$U(y, z) = K_y U_y(y) + K_z U_z(z) \quad (2.19)$$

де  $U(y, z)$  нормалізується умовами  $U(y^0, z^0) = 0$  та  $U(y^1, z^1) = 1$  для таких довільних значень  $y^1, z^1$ , що  $(y^1, z^0) > (y^0, z^0)$  та  $(y^0, z^1) > (y^0, z^0)$ ;

$U_y(Y)$  – частинна функція корисності на  $Y$ , яка нормалізується тотожностями  $U_y(Y^0) = 0$  та  $U_y(Y^1) = 1$ ;

$U_z(Z)$  – частинна функція корисності на  $Z$ , яка нормалізується тотожностями:

$$U_z(Z^0) = 0 \text{ та } U_z(Z^1) = 1; \quad (2.20)$$

$K_y, K_z$  – позитивні константи

За цим методом складений алгоритм визначення функції якості СТЕП.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i F_i(x_i), \quad (2.21)$$

де  $F_i(x_i)$  нормовані одномірні функції корисності,  $k_i$  – вагові коефіцієнти, які характеризують ціннісні співвідношення між окремими критеріями  $x_i$ . Обмеженням методу є умови незалежності пари критеріїв  $(x_i, x_j)$  ( $i = 1 \dots n-1, j = i+1 \dots n$ ) по перевазі від інших критеріїв. З урахуванням цього функція  $F(x_1, x_2 \dots x_n)$  обчислюється в такій послідовності:

- призначення критеріїв  $x_i$  та їх найгіршого та найкращого рівнів;
- визначення незалежності критеріїв  $x_i$  по перевазі;
- визначення одномірних функцій  $F_i(x_i)$ ;
- визначення вагових коефіцієнтів  $k_i$ ;
- розрахунок  $F(x_1, x_2 \dots x_n)$ .

Перевірка незалежності зводиться до відшукування таких випадків, коли структура переваг експерта порушує припущення про незалежність. Якщо таких випадків немає, умови незалежності виконані. Якщо такі випадки є, тоді



необхідно змінити критерій. Визначення одномірних функцій  $F_i(x_i)$ , яке виконується експертом, здійснюється графічно (рис.2.2).

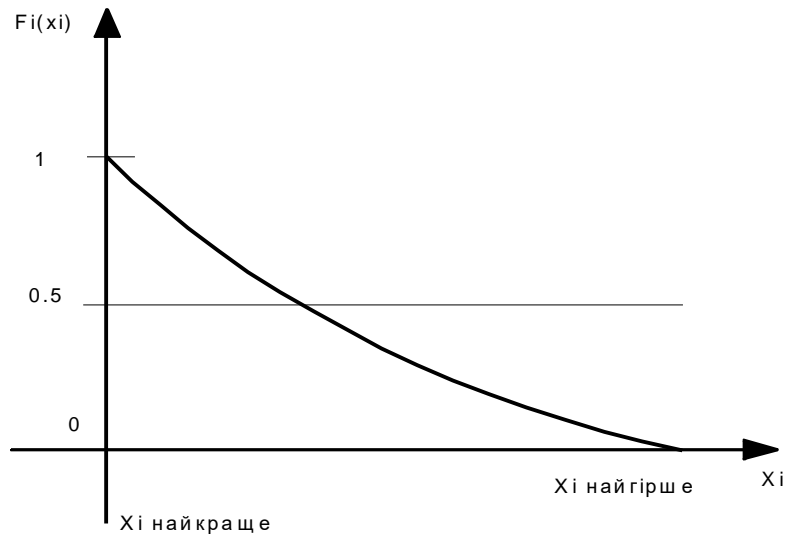


Рисунок 2.2 – Побудова одномірних функцій  $F_i(x_i)$

Для кожного з параметрів  $x_i$  задаються його найгірше та найкраще значення. Значенню  $x_i = x_i^{\text{найгірше}}$  відповідає значення одномірної функції, рівне 0, а значенню  $x_i = x_i^{\text{найкраще}}$  відповідає значення, рівне 1. Третя точка на графіку відшукується за допомогою лотереї 50:50. Необхідно знайти такий детермінований еквівалент, при якому його корисність  $F_i(x_i^{\text{детерм.}})$  дорівнює очікуваній корисності лотереї.

$$F_i(x_i^{\text{детерм.}}) = 0.5 F_i(x_i^{\text{найгірше}}) + 0.5 F_i(x_i^{\text{найкраще}}) = 0.5 \quad (2.22)$$

Графіки апроксимуються параболічними функціями.

Вагові коефіцієнти  $k_i$  оцінюються в два етапи. Спочатку вони оцінюються за важливістю, а потім визначаються чисельні значення вагових коефіцієнтів. Це виконується шляхом встановлення ціннісних співвідношень між критеріями. Ці співвідношення визначають можливу зміну одного

критерію за рахунок іншого. Здійснюється така оцінка коефіцієнтів при безпосередній участі експерта.

Тепер, маючи значення коефіцієнтів  $k_i$  та знаючи вигляд одномірних функцій  $F_i(x_i)$ , можемо обчислити значення множинної функції  $F(x_1, x_2 \dots x_n)$ .

Для кожного з параметрів задаються його найгірше та найкраще значення. Значенню відповідає значення одномірної функції, рівне 0, а значенню відповідає значення, рівне 1. Третя точка на графіку відшукується за допомогою лотереї 50:50. Необхідно знайти такий детермінований еквівалент, при якому його корисність дорівнює очікуваній корисності лотереї.

Графіки апроксимуються параболічними функціями.

Вагові коефіцієнти оцінюються в два етапи. Спочатку вони оцінюються за важливістю, а потім визначаються чисельні значення вагових коефіцієнтів. Це виконується шляхом встановлення ціннісних співвідношень між критеріями. Ці співвідношення визначають можливу зміну одного критерію за рахунок іншого. Здійснюється така оцінка коефіцієнтів при безпосередній участі експерта.

## Висновки

Проведено огляд відомих методів енергоаудиторського аналізу. Серед таких методів виділено статистичний метод, експериментальний та аналітичний.

Статистичний метод використовується для аналізу динаміки процесів, що пов'язані з енергоспоживанням на об'єкті, що досліджується. Під час використання такого методу використовуються різні математичні прийоми аналізу які передбачають оброблення статистично зібраних даних як підприємством так і енергоаудиторами.

Експериментальний метод використовується у випадках, коли є можливість і необхідність проведення експериментів з використанням засобів вимірювань.

Аналітичний метод застосовується енергоаудиторами у випадку необхідності використання математичного аналізу як під час проведення вимірювань, так і під час техніко-економічних розрахунків з метою необхідності обґрунтування доцільності і ефективності застосування того чи іншого заходу з енергозбереження.

Таким чином, в залежності від умов діяльності, енергоаудитор може застосувати конкретний метод або поєднати декілька для досягнення максимально якісного результату своєї роботи.

## РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПОДОЛАННЯ ПРОВАЛІВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МЕТОДАМИ ЕНЕРГОАУДИТОРСЬКОГО АНАЛІЗУ

3.1 Перевірка ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності.

Перевірка ефективності встановлення засобів компенсації реактивної потужності (КРП) є доволі розповсюдженою задачею.

Для виконання перевірки необхідно за однолінійною схемою системи електропостачання скласти електричну схему заміщення.

На рис. 3.1 показано однолінійну схему системи електропостачання .

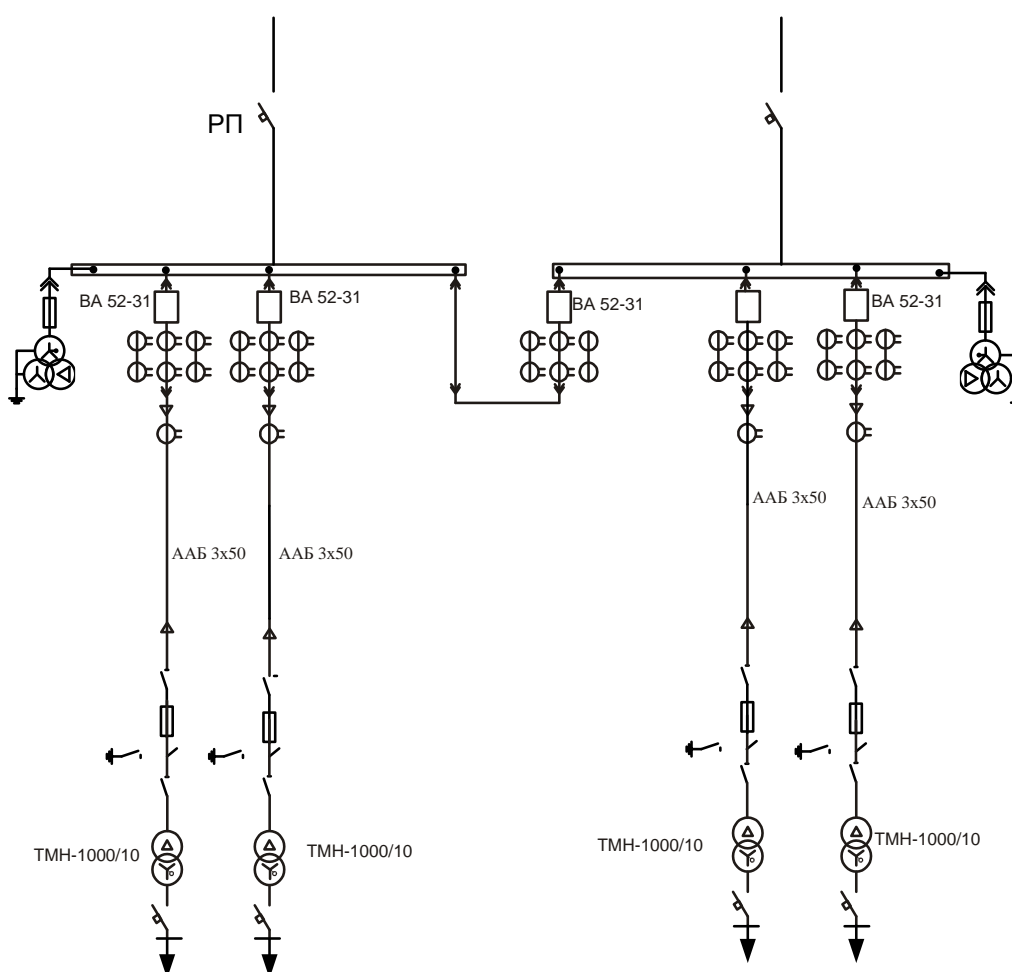


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема системи електропостачання підприємства

Алгоритм перевірки наведений нижче.

1. Критерій ефективності використання компенсації реактивної потужності на підприємстві:

$$T = \frac{K}{E}, \quad (3.1)$$

де  $T$  – термін окупності системи КРП, років;

$K$  – капіталовкладення в систему КРП, грн.;

$E$  – економія коштів внаслідок встановлення системи КРП, грн.

2. Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи КРП.

Економія коштів є різницею між витратами, що пов'язані з протіканням реактивної потужності по мережах підприємства до встановлення установок КРП ( $B^{до}$ ) і після їх встановлення ( $B^{після}$ ):

$$E = B^{до} - B^{після}. \quad (3.2)$$

Витрати до та після застосування конденсаторних установок містять такі складові

$$B^{до} = B_{втр}^{до} + B_{Wp}^{до} \text{ (грн)}, \quad (3.3)$$

$$B^{після} = B_{втр}^{після} + B_{Wp}^{після} + B_{втр}^{БК} \text{ (грн)}. \quad (3.4)$$

де  $B_{втр}^{до} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^{до} \cdot C_{Wa}$ ,  $B_{втр}^{після} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^{після} \cdot C_{Wa}$  – вартість втрат

активної енергії в  $n$  елементах системи електропостачання (СЕП) (лініях і

трансформаторах), тут  $\Delta W_i^{\text{до}}$ ,  $\Delta W_i^{\text{після}}$  – втрати активної енергії в  $i$ -му елементі СЕП,  $C_{Wa}$  – тариф на електроенергію, грн./(кВт·год.);

$$B_{\text{втр}}^{\text{БК}} = \sum_{j=1}^m \Delta W_j^{\text{БК}} \cdot C_{Wa} \quad \text{– вартість втрат активної енергії в батареях}$$

статичних конденсаторів компенсаційних установок;

$B_{Wp}^{\text{до}}$ ,  $B_{Wp}^{\text{після}}$  – вартість перетоків реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та споживачем, що, згідно з [3,4], визначається за виразом:

$$B_{Wp} = B_1 + B_2 - B_3 \quad (\text{грн}). \quad (3.5)$$

В свою чергу складові виразу (5) визначаються таким чином:

$$B_1 = (W_p^{\text{сп}} + K \cdot W_p^{\text{ген}}) \cdot D \cdot C_{Wa} \quad (\text{грн}). \quad (3.6)$$

де  $W_p^{\text{сп}}$  – споживана реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$W_p^{\text{ген}}$  – генерована реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$K = 3$  – нормативний коефіцієнт врахування збитків енергопостачальної організації від генерації реактивної електроенергії;

$D$  – економічний еквівалент реактивної потужності, що характеризує вплив реактивного перетоку в точці обліку на втрати активної потужності в розрахунковому режимі, кВт/квар:

$$B_2 = B_1 \cdot C_{\text{БАЗ}} \cdot (K_{\phi} - 1) \quad (\text{грн}), \quad (3.7)$$

де  $B_2$  – надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності, яка нараховується,

якщо коефіцієнт реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період  $\text{tg}\varphi > 0,25$  – для промислових споживачів і  $\text{tg}\varphi > 0,75$  – для непромислових споживачів;

$C_{\text{БАЗ}} = 1,3$  – нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП в електричних мережах споживача;

$K_{\varphi}$  – коефіцієнт, що визначається за виразами:

$$K_{\varphi} = (\text{tg}\varphi - 0,25)^2 + 1 \text{ – для промислових споживачів;} \quad (3.8)$$

$$K_{\varphi} = (\text{tg}\varphi - 0,75)^2 + 1 \text{ – для непромислових споживачів.} \quad (3.9)$$

Значення коефіцієнта реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період визначається як відношення споживаних, відповідно, активної та реактивної електроенергії:

$$\text{tg}\varphi = \frac{W_p^{cn}}{W_a^{cn}}. \quad (3.10)$$

Складова  $B_3$  є зниженням плати за споживання та генерування реактивної електроенергії за умови достатнього оснащення електричної мережі споживача засобами КРП і узгодженням з енергопостачальною організацією.

Для визначення складових виразу (4) необхідно розрахувати втрати енергії в елементах системи електропередачі.

Відповідно до [9], втрати електроенергії в електричній мережі визначаються з використанням коефіцієнта форми графіка навантаження за струмом, що, значною мірою, враховує нерівномірність графіка навантаження.

$$\Delta W = 3k_{\phi l}^2 I_c^2 RT \cdot 10^{-3} \text{ (кВт}\cdot\text{год)}. \quad (3.11)$$

де  $k_{\phi I} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}}{\sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}$  – коефіцієнт форми графіка навантаження за

струмом, тут  $I_i$  – середній струм навантаження в  $i$ -му періоді вимірювання, який може вимірюватись або розраховується за виразом:

$$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \text{ (А)}, \quad (3.12)$$

де  $P_c, Q_c$  – відповідно, середні активна та реактивна потужності навантаження, що живиться через елемент системи електропередачі (лінію чи трансформатор) за розрахунковий період  $T$ ;

$U$  – напруга елемента лінії електропередачі, кВ.

$I_c$  – середній струм, який може визначатись за виразом (12) або:

$$I_c = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T} \text{ (А)}. \quad (3.13)$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за виразом [8–10]

$$\Delta W_{mp} = \Delta P_{xx} T_{mp} + \beta^2 \Delta P_{кз} T_n, \quad (3.14)$$

де  $\Delta P_{xx}$  – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$  – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$T_{mp}$  – час, протягом якого трансформатор приєднано до мережі, год.;

$T_n$  – час, протягом якого трансформатор працює під навантаженням,

год.;



$\beta$  – коефіцієнт завантаження трансформатора, квадрат якого за умов змінного навантаження визначається за виразом:

$$\beta^2 = \frac{k_{\phi a}^2 P_c^2 + k_{\phi p}^2 Q_c^2}{S_n^2}, \quad (3.15)$$

де  $k_{\phi a}$  – коефіцієнт форми графіка активної потужності;

$k_{\phi p}$  – коефіцієнт форми графіка реактивної потужності;

$P_c$  – середнє значення активної потужності за розрахунковий період;

$Q_c$  – середнє значення реактивної потужності.

Величини  $P_c$  та  $Q_c$  визначаються для кожної лінії як суми середніх потужностей цехів, що живляться від конкретного трансформатора.

Таблиця 3.1 – Визначення середніх потужностей  $P_c$  і  $Q_c$

Номер трансформатора	Номери цехів	$P_c$	$Q_c$
1	1,2,14	97,6	61,4
2	3,4	73,2	54,2
3	5-9	110,4	53
4	10-13	61,3	47,2

Розрахунок реалізовано з використанням електронних таблиць Excel (табл. 3.2 – 3.4).

Під час розрахунку прийняті коефіцієнти форми графіків струму, активної та реактивної потужності, розраховані на основі зібраних статистичних даних за формулами:



Таблиця 3.3 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в кабельних лініях

Елемент	кф Ідо	кф Іпісля	Рс, кВт	Qс, квар	Т, год	U, кВ	l, км	R0 Ом/км	С, грн/кВт·год	Ввтр.до,гр н	Ввтр.післ я,грн	Еко00000но мія,грн
Кл 1	1,29	1,28	1122	14,2	8760	10	0,2	1,1	2,36	95295,93	93808,9	1486,95
Кл 2	1,28	1,27	810	10,7	8760	10	0,2	1,1	2,36	48899,58	48130,0	769,53
Кл 3	1,28	1,27	522	4,42	8760	10	0,3	1,1	2,36	30459,4	29983,2	476,22
Кл 4	1,28	1,27	372	10,3	8760	10	0,3	1,1	2,36	15480,0	15227,3	252,69
Сума												2985,39

В табл. 3.4. наведено розрахунок оплати за спожиту реактивну енергію. За умови повної компенсації ця величина дорівнюватиме економії підприємства, що пов'язана зі зниженням споживання реактивної енергії.

Підсумовуючи результати розрахунків, що наведені в табл. 3.2 – 3.4, отримуємо прогнозоване значення повної економії установи внаслідок КРП 61877 грн.

Таблиця 3.4 – Визначення величини зниження оплати за електроенергію підприємством внаслідок КРП

Wасп, кВт·год	Wасп, кВт·год	tgφ	D, кВт/квар	С, грн/ кВт·год	С <sub>баз</sub>	В1, грн	В2, грн	ВWр, грн
300000	2250000	0,75	0,02	2,36	1,3	106200	34515	140715

Враховуючи результати попереднього аналізу заходів з енергозбереження, термін окупності компенсувальних пристроїв очікується таким, що дорівнює:

$$T = \frac{B_{KV}}{C}, \quad (3.16)$$

$$T = \frac{300000}{150000} = 2 \text{ (року)}.$$

і це є допустимим. Після закінчення терміну окупності і за подібного характеру енергоспоживання підприємство внаслідок КРП буде економити понад 50000 грн. в рік.

### 3.2 Перевірка ефективності системи освітлення

Системи освітлення – системи з використанням електроенергії. Енергозбереження можливе шляхом оптимізації розрахунку системи освітлення, використання більш ефективних джерел світла, використання систем керування освітленням, організаційних заходів та ін.

Актуальність проведення аудиту зумовлена великою часткою освітлювального навантаження на підприємстві, що досліджується.

Хід побудови математичної моделі перевірки ефективності заходу з енергозбереження наводиться нижче.

Пропонується показник ефективності – значення приведеної річної економії коштів, що визначається за виразом:

$$E_p = \frac{B^{Л1} - B^{Л2}}{T_{роз}} \rightarrow \max, \quad (3.17)$$

де  $B^{Л1}$ ,  $B^{Л2}$  – витрати, що пов'язані з використанням відповідно працюючої і альтернативної ламп за розрахунковий період, грн.;

$T_{роз}$  – розрахунковий період, за який розраховуються витрати в системі освітлення, років.

$$T_{роз} = \frac{T_{макс}}{T_p}, \quad (3.18)$$

де  $T_{макс}$  – найбільший термін служби порівнюваних ламп, год.;

$T_p$  – річний час роботи системи освітлення, год./рік.

Витрати на діючу систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л1} = \left( Окp > \left\{ \frac{T_{макс} - T_{зал}}{T_{Л}} \right\} K_{Л} + P_{Лн} \cdot T_{макс} \cdot B_{W} \right) \cdot n, \quad (3.19)$$

де  $Окр >$  – символ, що означає округлення результату у фігурних дужках до більшого цілого;

$T_{Л}$  – номінальний термін служби ламп, система освітлення з використанням яких аналізується, год.;

$T_{зал}$  – залишковий термін роботи діючої лампи до її заміни, год.;

$K_{Л}$  – вартість лампи, грн.;

$P_{Лн}$  – номінальна потужність лампи, кВт.;

$B_{W}$  – тариф на електроенергію, грн./кВт·год.;

$n$  – кількість ламп даного типу в системі освітлення.

Витрати на альтернативну систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л2} = \left( \frac{T_{макс}}{T_{Л}} K_{Л} + P_{Лн} \cdot T_{макс} \cdot B_{W} \right) \cdot n - K_{ЛКВ}, \quad (3.20)$$

де  $K_{ЛКВ}$  – ліквідна вартість ламп діючої системи освітлення.

Система освітлення більшості сучасних організацій містить переважно люмінесцентні лампи. Розглянемо невелику дослідну лабораторію на переробному підприємстві, яка складається з 24 люмінесцентних ламп потужністю 36 Вт кожна. Середній річний час роботи системи освітлення складає  $T_p = 3000$  год. Тариф на активну електроенергію  $B_W = 2,36$  грн./кВт·год.

Пропонується замінити люмінесцентні лампи на світлодіодні лампи. Світлова віддача світлодіодних ламп майже в два рази вища ніж у люмінесцентних. Характеристики обох видів ламп наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Порівняльні характеристики люмінесцентних і світлодіодних ламп

Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цоколь	Ціна, грн.
Люмінесцентна	36	2500	6000	G13	20
Світлодіодна	18	1368	50000	T8	135

Серед двох типів ламп, які досліджуються, найбільший строк служби є у світлодіодної лампи. Тому  $T_{\max} = 50000$  год.

Лампи люмінесцентні вже працювали 2 000 год., тому залишковий термін роботи до їх заміни приймаємо  $T_{\text{зал}} = 3000 - 2000 = 1000$  (год).

Витрати на систему освітлення з люмінесцентними лампами за розрахунковий період, згідно з [20]:

$$B_{\text{дрл}} = \left( \text{Окр} > \left\{ \frac{50000 - 1000}{6000} \right\} \cdot 20 + 36 \cdot 10^{-3} \cdot 50000 \cdot 1 \right) \cdot 18 = 35640 \text{ (грн)},$$

а з світлодіодними лампами, згідно з (21):

$$B_{\text{дл}} = \left( \frac{50000}{50000} \cdot 135 + 18 \cdot 10^{-3} \cdot 50000 \cdot 1 \right) \cdot 18 = 18630 \text{ (грн.)}.$$

Розрахунковий період визначення витрат в системі освітлення:

$$T_{\text{роз}} = \frac{50000}{6000} = 8,3 \text{ (року)}.$$

Отже, витрати, розраховані за виразами (20), (21), визначені за період в 8,3 року. Це справедливо за припущення, що всі лампи працюють точно

визначений термін роботи. Реальні показники роботи можуть відрізнятись, тому розрахунки за таким принципом є наближеними.

За виразом (18) визначимо приведену до одного року економію коштів внаслідок заміни в системі ламп люмінесцентними на світлодіодні:

$$E_p = \frac{35640 - 18630}{8,3} = 2050 \text{ (грн.)}.$$

Простий термін окупності модернізованої системи освітлення:

$$T = \frac{K_{\text{СВл}} \cdot n}{E_p}, \quad (3.21)$$

$$T = \frac{135 \cdot 18}{2050} = 1,2 \text{ (року)}.$$

Таким чином, оскільки річна економія коштів внаслідок модернізації системи освітлення дорівнює понад 2 тис. грн., а термін окупності капіталовкладень не перевищує 1,2 року, модернізація системи освітлення шляхом заміни ламп люмінесцентними на світлодіодні є ефективною. Якщо здійснити модернізацію системи освітлення усього будівлі, то економія складе понад 200000 грн/рік. При цьому капіталовкладення будуть в межах 250-300 тис. грн.

### 3.3 Встановлення сенсорів руху

Сучасне суспільство постійно знаходиться в пошуках максимально комфортних умов для повсякденного життя і роботи. Технологічні розробки у всіх сферах промислової індустрії навколо людини прискорюють розвиток зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на облаштування побуту, і вимагають зібраності і швидкості реакції. Людина вже не може покладатися на

власні сили, тут неоціненну допомогу надають різні сенсори, здатні миттєво реагувати на найменші коливання або зміни в навколишніх процесах.



Рисунок. 3.2 – Різновиди сенсорів руху

*Переваги використання сенсора:*

1. Система освітлення стає більш ефективною, так як сенсор руху являє собою автоматичний вузол управління і не доведеться користуватися вимикачем без особливої необхідності;
2. Економічність, так як включення світла відбувається лише при появі рухомого об'єкта в радіусі дії, а вимикається прилад, через нетривалий відрізок часу, причому інтервал відключення легко налаштується;
3. Простота монтажу, так як схема підключення через вимикач не відрізняється складністю і всі дії можна виконати самостійно;
4. Компактні розміри і непримітний зовнішній вигляд дозволяють організувати систему освітлення та безпеки без залучення особливої уваги сторонніх, особливо, коли мова йде про встроюване виконання;
5. Забезпечення безпеки, так як автоматичне включення світла є ознакою того, що в будинку є люди, крім того, можна встановити сигналізацію поряд з освітлювальною системою.

Система освітлення, в якій сенсор підключений через вимикач, має головна перевага: можна переходити від ручного управління до автоматичного варіанту і – навпаки. Тоді як установка тільки одного автоматичного вузла дещо звужує функціональність системи освітлення.



### Способи підключення сенсорів руху

Принцип дії цього приладу в чому схожий з роботою вимикача: обидва приладу є переривачів ланцюга. Тому схема підключення сенсора руху до освітлювального приладу має той же принцип, за винятком одного моменту – цей прилад має потребу в харчуванні, а значить, до сенсора підключається «фаза» і «нуль». Класичний варіант з'єднання, коли планується установка сенсора руху і освітлювального приладу без монтажу іншої апаратури (схема 1):. Якщо площа приміщення досить велика і перевершує за величиною робочу зону автоматичного вузла керування системою освітлення, то допускається і навіть рекомендується установка двох і більше сенсорів. Їх кількість визначається розмірами приміщення, а також радіусом дії кожного виконання. Процес підключення в цьому випадку набагато складніше (схема 2). Кількість сенсорів, що підключаються, і освітлювальних приладів може бути різним і не обмежується зазначеним на рисунку варіантом. Щоб мати можливість використовувати систему освітлення на свій розсуд і включати освітлювальні прилади на більш тривалий час, ніж це дозволяє сенсор руху, можна підключити вузол автоматики через вимикач (схема 3)[2].

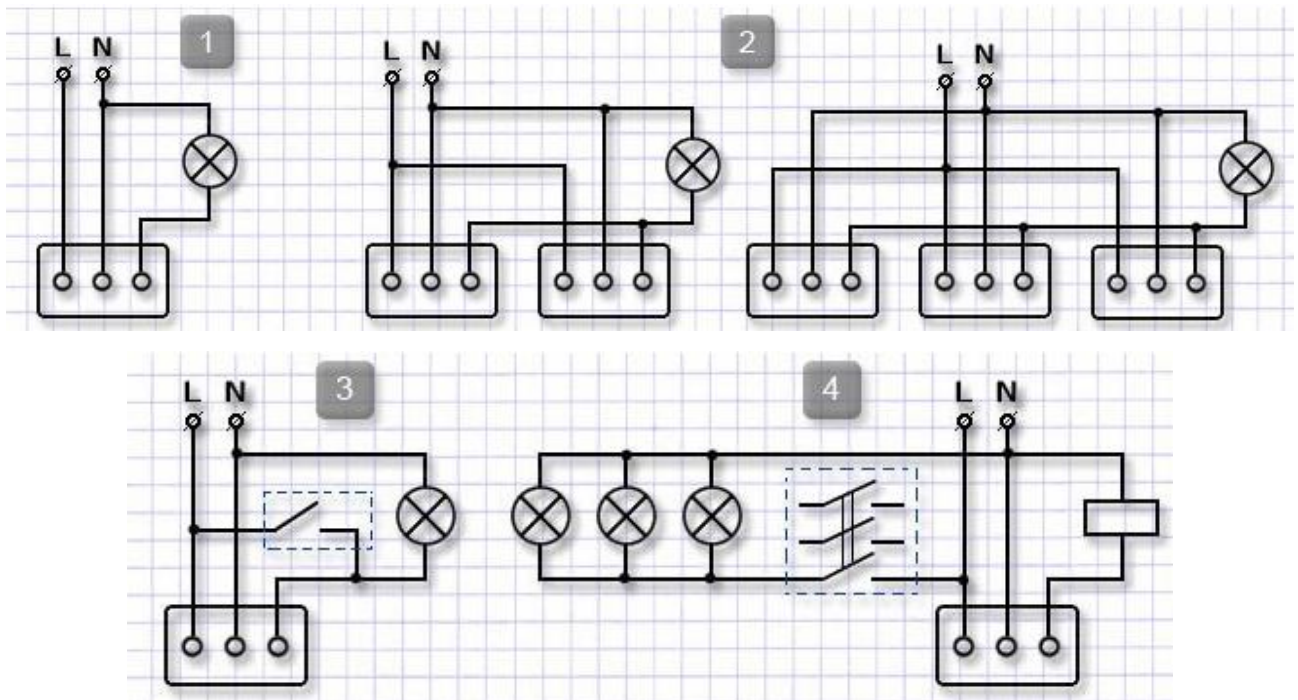


Рисунок. 3.3 – Схеми підключення сенсорів руху

### 3.4 Аналіз норм використання теплової енергії та побудова регресійних залежностей

Норми використання теплової енергії на опалення градусо-днів визначаються за формулою:

$$H = \frac{Q}{D}. \quad (3.22)$$

де  $Q$  – обсяг теплової енергії, що спожита за місяць, Гкал;

$D$  – кількість градусо-днів в місяці, що досліджується.

Відомості про вказані величини для трьох років (2015 р., 2016 р., 2017 р.) наведено в таблицях 1.3 – 1.5.

Для прикладу візьмемо дані за січень місяці і обчислимо норму використання на опалення за 2017 рік.

$$H = \frac{148,23}{609,67} = 0,24 \text{ (Гкал/гр.дн)}$$

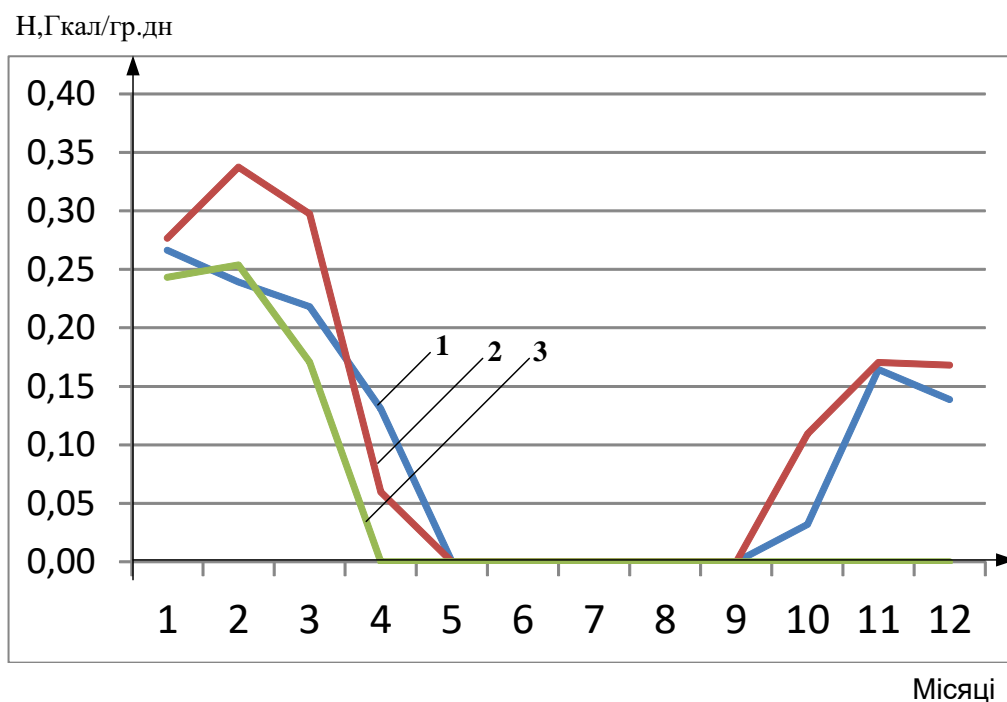


Рисунок 3.4 – Норми використання теплової енергії в будівлі протягом років: 1 – 2016 р., 2 – 2017 р., 3 – 2018 р.

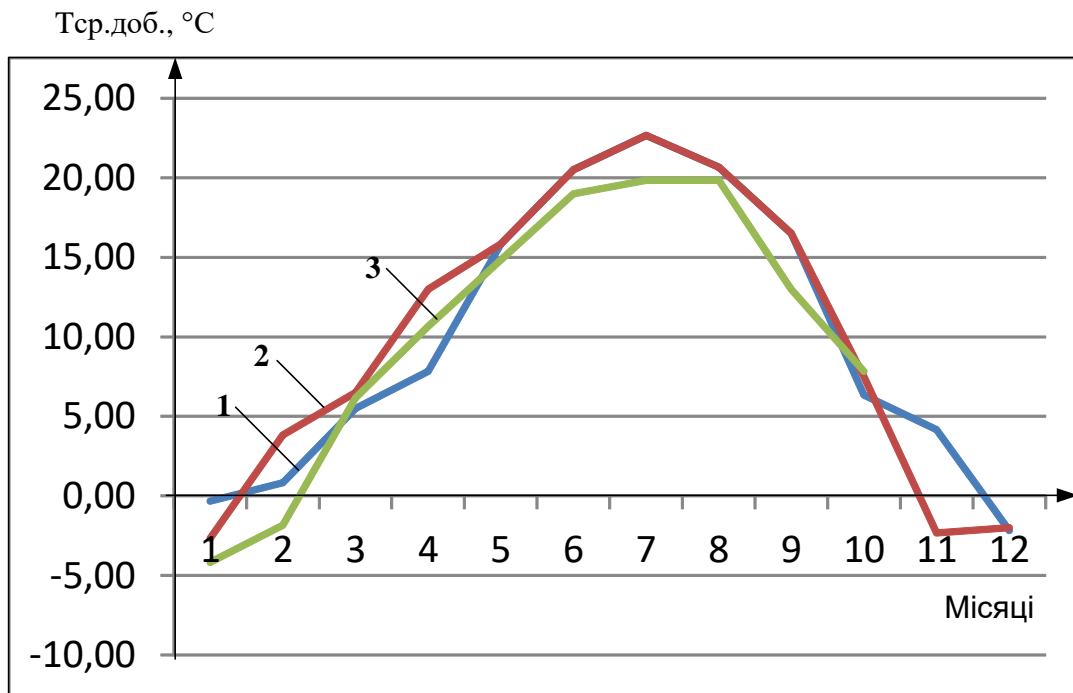


Рисунок 3.5 – Зміна середньомісячної температури в м. Вінниці протягом років:  
1 – 2016 р., 2 – 2017 р., 3 – 2018 р.

На рисунку 3.4 наведено норми використання теплової енергії на один градусодень, розраховані за даними 2016 – 2018 років, а на рисунку 3.5 наведено графіки зміни середньомісячної температури в м. Вінниці протягом року. З графіків видно, що, наприклад в березні, коли активно відбувається навчальний процес, середньомісячна температура протягом трьох років, що досліджуються – практично однакова. При цьому кількість спожитої теплової енергії в 2016 р – 0,3 Гкал/гр. день, а в 2017 році – 0,17 Гкал/гр. день, що практично вдвічі менше.

Дослідження показали, що припускаючи, що температурний режим в приміщеннях будівлі був контрольований відповідними службами і відповідав санітарним нормам, то в 2017 році організаційні заходи по регулюванню тепловикористання були вдвічі ефективніші ніж в 2016 році. Тому, ефективним є аналіз заходів по енерговикористанню, що здійснювався в 2017 році і на поточний 2018 рік пропонується вживати їх також, щоб отримати показники, не гірші ніж в 2017 році.

Одночасно необхідно продовжити дослідження тенденції споживання теплової енергії.

Подібні висновки можна зробити і по жовтню місяцю , аналізуючи енергоспоживання в різні роки.

Результати опитувань показали, що зниження споживання теплової енергії викликані змінами в організації температурного регулювання. Зокрема, раніше, на вихідні опалення виключалось до мінімально можливого рівня. Однак це не давало суттєвого ефекту, оскільки на початку тижня, коли збільшувалось подача тепла, то через значне охолодження будівлі за вихідні, спостерігалось підвищене її споживання для нормалізації температури в будівлі, яка б відповідала санітарним нормам. Статистичні залежності, наведені на рис. 3.4 - 3.5 вказують на ефективність такого заходу з енергозбереження, як оптимізація регулювання подачі теплової енергії і недопущення значного переохолодження будівель. Разом з тим ефект виник в наслідок підвищення рівня організаційних заходів, регулярного контролю та аналізу енергоспоживання.

На рис. 3.6 наведено регресійні залежності споживання теплової енергії будівлею від кількості градусоднів протягом місяців.

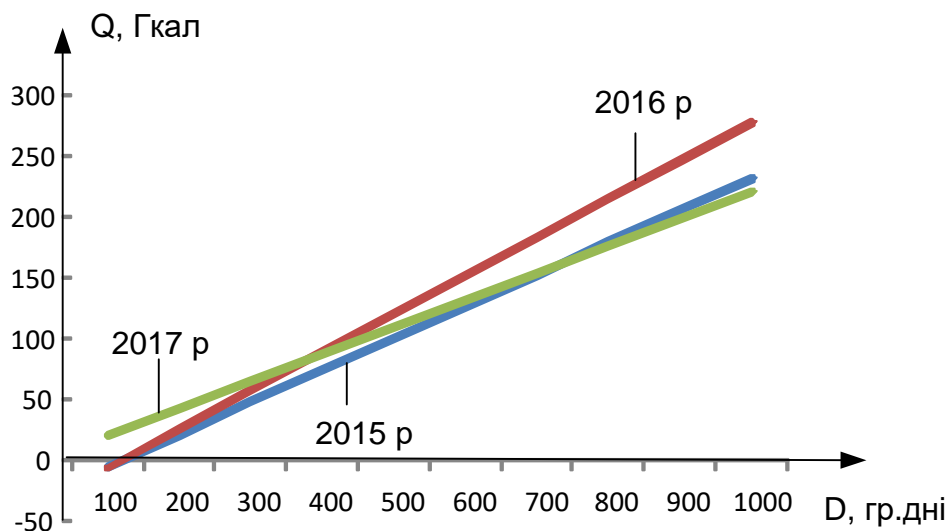


Рисунок 3.6 – Регресійна залежність місячного обсягу спожитої теплової енергії від кількості градусоднів місяця

Вказані залежності показують, що за однакових температурних умов кількість спожитої енергії відрізняється і залежить від вжитих енергозберігаючих організаційно-технічних заходів. Програма для побудови залежностей наведена в додатку \_\_. Регресійні залежності дозволяють прогнозувати теплоспоживання будівлі, а найкраща залежність може вважатись нормативною, тобто її значення можуть бути ціллю, яку треба досягти і за можливості покращити.

Таким чином, під час аналізу використання теплової енергії використовувались аналітичний і статистичний методи в результаті якого підтверджувалась ефективність вищевказаних заходів з енергозбереженн

### 3.5 Дослідження системи теплоенергопостачання(СТЕП) будівлі з традиційними та відновлювальними джерелами енергії

Можлива теплова схема СТЕП будівлі з традиційними та відновлювальними джерелами енергії наведена на рис 3.7:

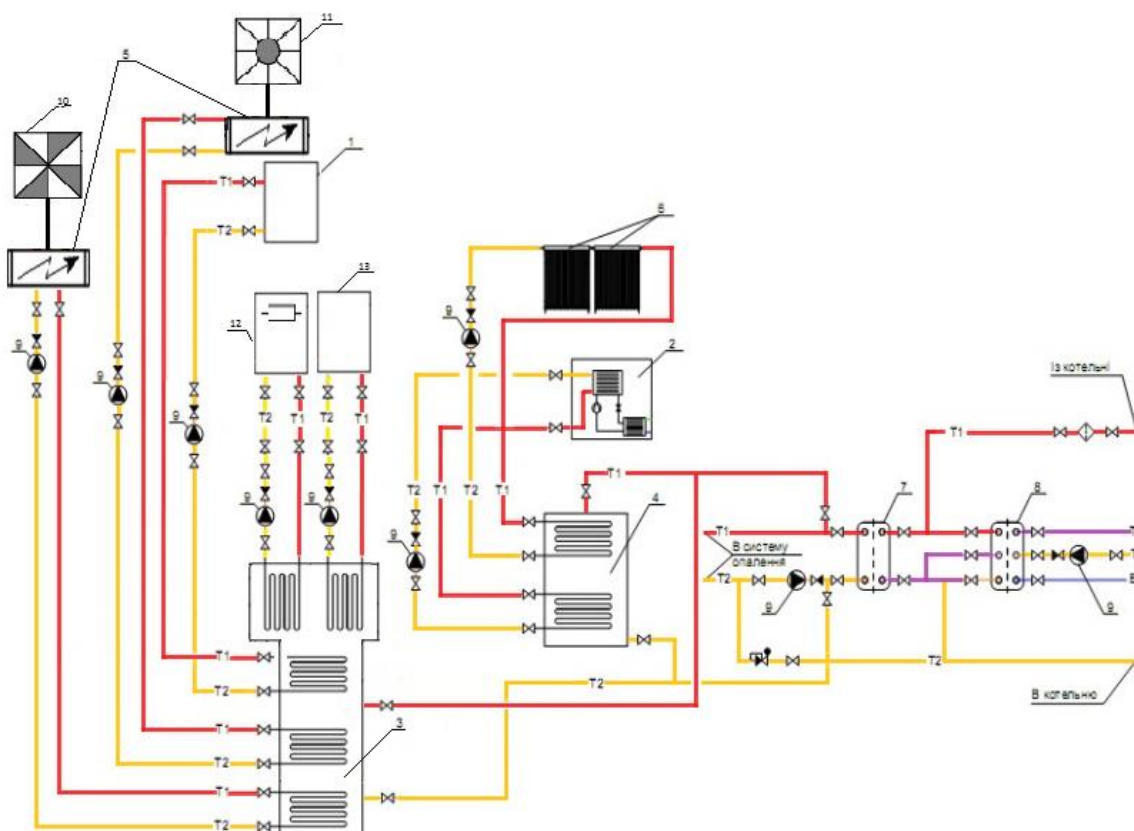


Рисунок 3.7 – Теплова схема системи теплоенергопостачання будівлі з традиційними та відновлювальними джерелами енергії

Умовні позначення на схемі: 1 – газовий конденсаційний котел; 2 – тепловий насос; 3, 4 – водонагрівач– акумулятор; 5 – електроводонагрівач; 6 – вакуумні сонячні колектори; 7 – теплообмінник блочного теплового пункту системи опалення; 8– теплообмінник блочного теплового пункту системи гарячого водопостачання; 9 – циркуляційні насоси; 10 – вітряна електростанція; 11– сонячна електростанція; 12 – електрокабель; 13 – піролізний котел; T1,T2 – трубопроводи гарячої води для опалення та подачі – подавальний і зворотній; T3,T4 – трубопроводи гарячої води для гарячого водопостачання – подавальний і циркуляційний; В1–господарсько – питний водопровід.

Принцип роботи схеми: сонячна енергія надходить на СЕС (11) перетворюючись в електричну передається на водонагрівач (5), за таким принципом працюють і вакуумні сонячні колектори (6) передаючи її на водонагрівачі–акумулятори (3,4,) через подавальний трубопровід ( T1 ). В свою чергу ВЕС ( 10 ) за допомогою енергії вітру виробляє електричну енергію звідки передає її на водонагрівач (5) потім гаряча вода надходить в систему. Разом з газовим котлом ( 1 ) і тепловим насосом (2), піролізним (11) та електрокотлом (12) гаряча вода та тепла енергія передаються по трубопроводах в систему опалення та на теплообмінники гарячого водопостачання.

Принципова схема геліосистеми будівлі наведена на рис. 3.8:

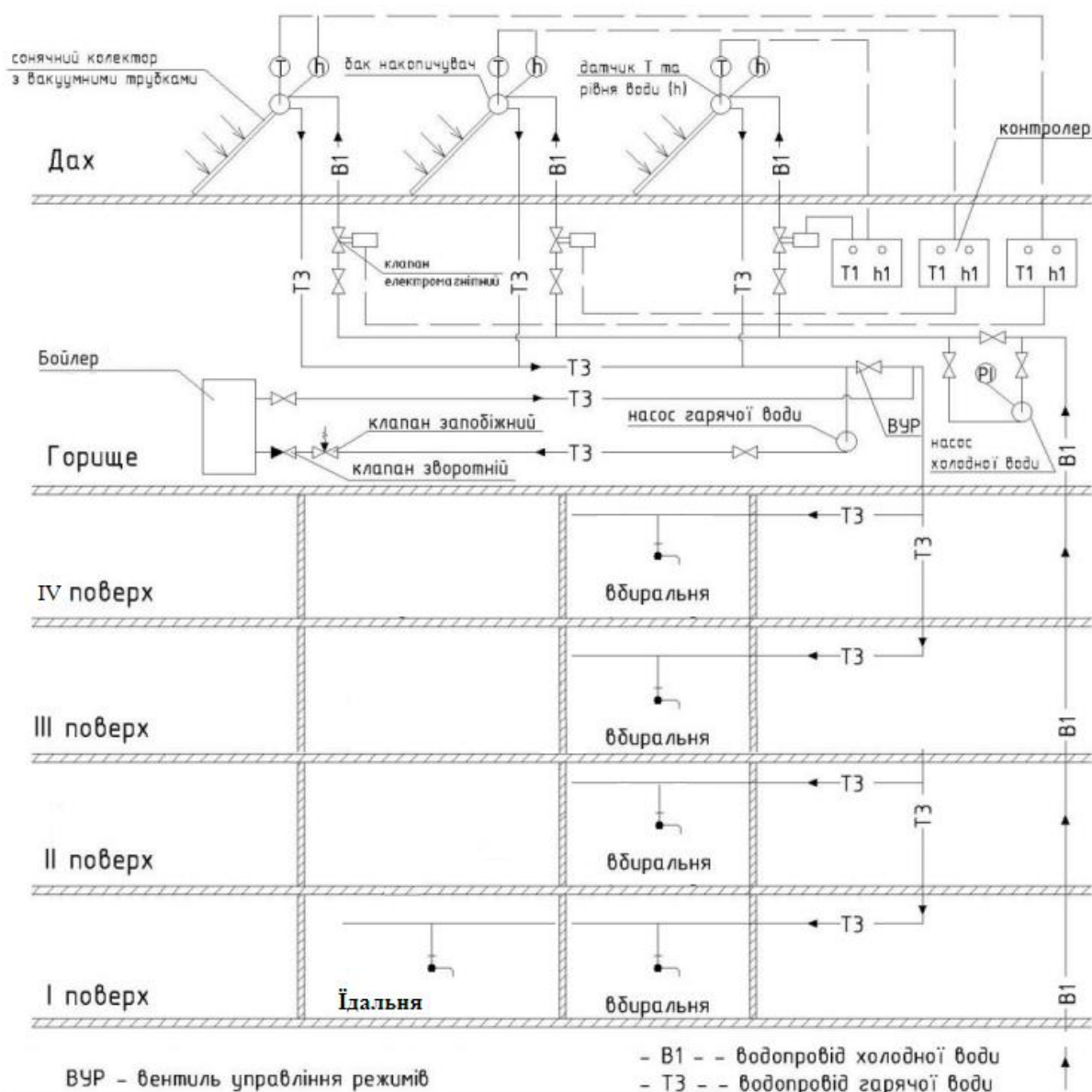


Рисунок 3.8 – Схема геліосистеми.

3.5.1 Задачі реконструкції, числових досліджень та оптимізації джерел теплоенергопостачання приміщень і оглядів їх розв'язання

Мета дослідження полягає в знаходженні оптимальної конфігурації та оптимальних параметрів обладнання теплової схеми СТЕП будівель. Теплова схема СТЕП відображує елементи СТЕП та зв'язки між ними. Задачами проектування та модернізації схем і устаткування СТЕП є такі:

а) синтез оптимальної теплової схеми СТЕП;

б) дослідження синтезованої теплової схеми на режимах, відмінних від базового.

Для розв'язку цих задач звичайно створюється математична модель СТЕП  $Z(X, Y, G^T, I)$  де  $Z$  – чисельне значення критерія якості варіанта СТЕП,  $X, Y$  – відповідно незалежні та залежні змінні,  $I$  – початкова інформація,  $G^T$  – варіант схеми з деякої послідовності варіантів  $G$ . Синтез схеми СТЕП полягає в знаходженні мінімуму  $Z$  в результаті оптимізації її структур і параметрів. Структурою є схема СТЕП з визначеною кількістю елементів, технологічними призначеннями цих елементів та способами поєднань елементів між собою. Оптимізація структур відбувається перебором з списку можливих структур  $G$ . Дослідження синтезованої теплової схеми на режимах, відмінних від базового зводиться до визначення  $Y$  при змінах  $I$  та фіксованих  $X$ . Розглянемо методи синтезу та аналізу схем СТЕП.

Енергоощадні джерела енергії зменшують плату за спожиті ресурси. Проте джерела енергії слід оцінювати також і за екологічними, медичними та іншими показниками, особливо якщо вони встановлюються в місцях скупчення людей. В роботі [6] розглянуто підвищення екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення будівель шляхом перерозподілу енергії між альтернативними та традиційними джерелам.

Досягнення поставленої мети забезпечується розв'язанням таких завдань:

- розвиток методичних підходів до оцінки екологічного стану систем теплохолодозабезпечення;
- розробка математичної моделі перерозподілу потоків енергії між альтернативними і традиційними джерелами в системах теплохолодозабезпечення будівель;
- розробка алгоритму підвищення екологічної безпеки систем теплохолодозабезпечення;
- моделювання та оптимізація перерозподілу потоків енергії між альтернативними і традиційними джерелами в системах теплохолодозабезпечення.



Розрахунки показали, що застосування альтернативних джерел енергії в системах теплохолодозабезпечення дозволяє зменшити забруднення атмосферного повітря на 43–66% та обсяги утворюваних твердих відходів на 46–62% в порівнянні з традиційною системою на основі електроенергії, виробленої вугільною теплоелектроцентральною (як найгіршим варіантом).

Результати моделювання довели, що врахування перерозподілу енергопотоків дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки альтернативної системи на 35%; а застосування оптимального рішення робить можливим підвищення індексу екологічної безпеки альтернативної системи в порівнянні з традиційною на вугільному паливі на 63%.

Задачі досліджень даного розділу наступні.

1. Системний аналіз джерел тепло енергопостачання будівлі з традиційними та відновлюваними джерелами енергії

2. Економічне обґрунтування заходів енергозбереження в буфеті, розміщеному в будівлі.

3.5.2 Системний аналіз джерел теплоенергопостачання будівлі з традиційними та відновлюваними джерелами енергії

Дослідження виконувалися за допомогою програмної реалізації методу системного аналізу, наведеного вище.

Початкові дані до досліджень складаються з умов:

- необхідна для будівлі теплова потужність теплогенератора – 600 кВт;
- кожний варіант повинен забезпечити 40 кВт електричної потужності. Якщо за варіантом не вистачає потужностей то варіант добирає невивистачаючі потужності з теплової та електричної мереж, сплачуючи за невивистачаючу теплову та електричну енергію.

Прийняті критерії оцінки варіантів конфігурації СТЕП та їх рівні наведені в таблиці 3.6:

Таблиця 3.6 – Критерії оцінки варіантів конфігурації СТЕП та їх рівні

Критерії оцінки варіантів конфігурації СТЕП	Кращий рівень	Гірший рівень
X1 – Затрати на енергоносії, млн.грн	0	3
X2 – Капіталовкладення, млн.грн	0	5
X3 – Викиди CO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> , т	0	33
X4 – Кількість золи, т	0	6.8
X5 – Вага устаткування, т	0	8
X6 – Рівень шуму, дБ	10	100
X7 – Відносна ймовірність відмов,%	0	100

Розглядалися дев'ять варіантів:

Варіант 1.ПК–піролізний котел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 2.ЕК–електрокотел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 3.ВЕС– вітряна електростанція 14 кВт для продажу електричної енергії;

ПК–піролізний котел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант4.СЕС–сонячна електростанція 10 кВт для продажу електричної енергії; ПК–піролізний котел 600 кВт; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 5.СК– сонячні колектори 200 кВт + 400 кВт електрокотел; 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 6.ТНУ–теплонасосна установка 600 кВт з електричним приводом 150 кВт. 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 7. КГПД–когенераційна газо–поршнева установка електричною потужністю 40 кВт та тепловою 45 кВт. 555 кВт теплової потужності від теплової мережі.

Варіант 8 ПЧ–інфрачервоне опалення 600 кВт теплової потужності та 40 кВт електричної потужності з електромережі.

Варіант 9.ГК– газовий котел 600 кВт та 40 кВт електричної потужності з електромережі.

В розрахунках прийнято:

Річний час роботи на тепловій потужності 600 кВт –  $T_{T.p.} = 2000$  годин.

Річний час роботи на електричній потужності 40 кВт –  $T_{E.p.} = 2500$  годин.

Питома вартість теплової енергії,  $C_T = 1295$  грн/Гкал;

Питома вартість електричної енергії,  $C_E = 2,36$  грн/кВт·год; (тарифи на жовтень 2018 року);

Річні витрати теплової енергії [2]:

$$E_T = P_T \cdot T_{T.p.} \cdot k \text{ (Гкал)}, \quad (3.23)$$

де  $P_T$  – середнє значення річної теплової потужності, що використана підприємством, кВт;

$T_{T.p.}$  – річний час роботи на тепловій потужності, год;

$k$  – коефіцієнт переведення одиниць енергії з кВт·год в Гкал (1 кВт·год =  $= 859,85 \cdot 10^{-6}$  Гкал).

$$E_T = 600 \cdot 2000 \cdot 859,85 \cdot 10^{-6} = 1031 \text{ (Гкал)}.$$

Річні витрати електричної енергії:

$$E_E = P_E \cdot T_{E.p.} \text{ (кВт·год)}, \quad (3.24)$$

де  $P_E$  – середнє значення річної електричної потужності, що використана підприємством, кВт;

$T_{E.p.}$  – річний час використання електричної потужності підприємства, год;

$$E_E = 40 \cdot 2500 = 100000 \text{ (кВт·год)}.$$

Вартість теплової енергії, що надана КП «Вінницяміськтеплоенерго»:

$$B_{E_T} = E_T \cdot C_T \text{ (грн)}, \quad (3.25)$$

де  $E_T$  – річні витрати теплової енергії, Гкал;

$C_T$  – ціна теплової енергії, грн/Гкал;

$$B_{E_T} = 1031 \cdot 1295 = 1335145 \text{ (грн)}.$$

Вартість електричної енергії з електромережі:

$$B_{E_E} = E_E \cdot C_E \text{ (грн)}, \quad (3.26)$$

де  $E_E$  – річні витрати електричної енергії, кВт·год;

$C_E$  – ціна електричної енергії, грн/кВт·год;

$$B_{E_E} = 100000 \cdot 2,36 = 236000 \text{ (грн)}.$$

Перевіримо можливість використання альтернативних джерел енергії для енергозабезпечення будівлі:

*Використання дров для опалення будівлі:*

Визначимо вартість дров, необхідну для отримання теплової енергії в обсязі 1200000 кВт·год за виразом [5]:

$$B_{др} = \frac{V_{др} \cdot C_{др}}{\eta_k} = \frac{E_T}{\theta_{др} \cdot \eta_k} \cdot C_{др} \text{ (грн)}, \quad (3.27)$$

де  $V_{др}$  – об'єм деревини, що спалюється, м<sup>3</sup>;

$C_{др}$  – вартість деревини, грн/ м<sup>3</sup>;

$E_T$  – обсяг теплової енергії, який необхідно виробити, кВт·год;

$\theta_{др}$  – теплотворність, кВт·год/ м<sup>3</sup>;

$\eta_k$  – ККД котла, в.о.;

Згідно [5] середня теплотворність дерева складає  $\theta_{др} = 1800$  кВт·год/ м<sup>3</sup>, згідно [6]  $C_{др} = 200$  грн/ м<sup>3</sup>, а згідно [7] для твердопаливного котла  $\eta_k = 0,8$ .

Тоді:

$$B_{др} = \frac{1200000}{1800 \cdot 0,8} \cdot 200 = 167000 \text{ (грн)}.$$

*Використання природного газу для опалення будівлі:*

Визначимо вартість газу, необхідну для отримання теплової енергії в обсязі 1200000 кВт·год за виразом [8]

$$B_{пр.г} = \frac{V_{пр.г} \cdot C_{пр.г}}{\eta_k} = \frac{E_T}{\theta_{пр.г} \cdot \eta_k} \cdot C_{пр.г} \text{ (грн)}, \quad (3.28)$$

де  $V_{пр.г}$  – об'єм природного газу, що спалюється, м<sup>3</sup>;

$C_{пр.г}$  – вартість природного газу, грн/ м<sup>3</sup>;

$E_T$  – обсяг теплової енергії, який необхідно виробити, кВт·год;

$\theta_{пр.г}$  – теплотворність природного газу, кВт·год/ м<sup>3</sup>;

$\eta_K$  – ККД газового котла, в.о.;

Згідно [8] теплотворність природного газу складає  $\theta_{пр.г} = 9,26$  кВт·год/ м<sup>3</sup>, згідно [9]  $C_{пр.г} = 7,09$  грн/ м<sup>3</sup>, а згідно [7] для газового котла  $\eta_K = 0,9$ . Тоді:

$$B_{др} = \frac{1200000}{9,26 \cdot 0,9} \cdot 7,09 = 1021000 \text{ (грн)}.$$

*Використання електроенергії для опалення будівлі:*

Визначимо вартість електроенергії, необхідну для отримання теплової енергії в обсязі 1200000 кВт·год за допомогою електричного котла за виразом (3.34) і враховуючи що ККД таких котлів близький до 100% .

$$B_{ек} = 1200000 \cdot 2,36 = 2832000 \text{ (грн)}.$$

*Використання систем інфрачервоного обігріву для опалення будівлі:*

Вартість електричної енергії, що повинна бути спожита інфрачервоними обігрівачами для отримання теплової енергії в обсязі 1200000 кВт·год:

$$B_{io} = \frac{E_E \cdot C_E}{\eta_{io}}, \text{ (грн)} \quad (3.29)$$

де  $E_E$  – річні витрати електричної енергії, кВт·год;

$C_E$  – ціна електричної енергії, грн/ кВт·год;

$\eta_{io}$  – ККД інфрачервоного обігрівача, в.о.;

Згідно [10] для інфрачервоного обігрівача  $\eta_{io} = 0,95$ . Тоді:

$$B_{io} = \frac{1200000 \cdot 2,36}{0,95} = 2982000 \text{ (грн)}.$$

*Використання сонячних колекторів для опалення будівлі і догрівання електричними котлами:*

Нехай теплова потужність, що генерується сонячними колекторами 200 кВт. Тоді потужність, що генерується електричними котлами і необхідна для догрівання буде дорівнювати 400 кВт, що в 1,5 рази менше ніж до використання сонячних колекторів. Відповідно, вартість теплової енергії, що вироблена електричними котлами.

$$B_{E_T} = \frac{B_{ек}}{1,5} = \frac{2832000}{1,5} = 1888000 \text{ (грн)}.$$

*Використання тепло-насосної установки для опалення будівлі:*

Споживана потужність тепло-насосної установки, що необхідна для забезпечення опалення будівлі розраховується за формулою [11]

$$P_{THU} = \frac{P_T}{COP_c} \text{ (кВт)}, \quad (3.30)$$

де  $P_T$  – середнє значення річної теплової потужності, що використана підприємством, кВт;

$COP_c$  – середнє значення коефіцієнта перетворення (приймається рівним 4).

$$P_{THU} = \frac{600}{4} = 150 \text{ (кВт)}.$$

Тоді вартість електричної енергії, що повинна бути спожита теплонасосною установкою:

$$B_{THU} = P_{THU} \cdot T_{T.p.} \cdot C_E \text{ (грн)}, \quad (3.31)$$

$$B_{THU} = 150 \cdot 2000 \cdot 2,36 = 708000 \text{ (грн)}.$$

Визначення капіталовкладень в теплогенератори, що забезпечують теплову потужність 600 кВт.

*Капіталовкладення в твердопаливний котел:*

$$K_{\kappa} = K + K_{\text{м.н.}} \text{ (грн)}, \quad (3.32)$$

де  $K$  – вартість котла і допоміжних матеріалів, грн [12];

$K_{\text{м.н.}}$  – вартість монтажу і налагодження, грн [13];

$$K_{\text{тк}} = 405000 + 95000 = 500000 \text{ (грн)}.$$

*Капіталовкладення в електричний котел:*

Розраховуємо за формулою (3.32). Вартість котлів взято з [14]

$$K_{\text{ек}} = 113000 + 50000 = 163000 \text{ (грн)}.$$

*Капіталовкладення в газовий котел:*



Розраховуємо за формулою (3.32). Вартість котлів взято з [15]

$$K_{зк} = 600000 + 80000 = 680000 \text{ (грн)}.$$

*Капіталовкладення в систему інфрачервоного обігріву:*

Вартість плівки становить 395 грн/м<sup>2</sup>, вартість монтажу – 70 грн/м<sup>2</sup>., вартість плитки, укладання і додаткових матеріалів – 300 грн/м<sup>2</sup>., орієнтовна площа використання плівки – 5000 м<sup>2</sup>., потужність, що споживається плівкою – 0,15 кВт/м<sup>2</sup> [10]. Капіталовкладення розраховуємо за формулою:

$$K_{іч} = S_{нл} \cdot B_{м^2} = \frac{P_T}{P_{нум.сн} \cdot \eta_{іо}} \cdot B_{м^2}, \text{ (грн)} \quad (3.33)$$

де  $S_{нл}$  – площа укладання системи, м<sup>2</sup>;

$P_{нум.сн}$  – питома потужність споживання інфрачервоною плівкою, кВт/м<sup>2</sup>;

$\eta_{іо}$  – ККД інфрачервоного обігрівача, в.о.;

$B_{м^2}$  – вартість 1м<sup>2</sup> системи (включає вартість плівки, монтажу, додаткового електротехнічного обладнання, плитки і додаткових будівельних матеріалів)

$$K_{іч} = \frac{600}{0,15 \cdot 0,95} \cdot (395 + 70 + 300) = 3222000 \text{ (грн)},$$

Причому площа укладання системи:

$$S_{нл} = \frac{600}{0,15 \cdot 0,95} = 4210, \text{ (м}^2\text{)}.$$

що не перевищує максимально допустимої площі укладання 5000 м<sup>2</sup>.

*Капіталовкладення в систему опалення з використанням теплового насосу:*

Розраховуємо за формулою (3.32). Вартість тепло-насосної установки взято з [16]

$$K_{ек} = 1250000 + 250000 = 1500000 \text{ (грн)}.$$

*Капіталовкладення в систему опалення з використанням сонячних колекторів потужністю 200 кВт та електричним догріванням 400 кВт:*

$$K_{ск} = K_{ск} + K_{ек} + K_{м.н.} \text{ (грн)}, \quad (3.34)$$

де  $K_{ск}$  – вартість системи опалення з використанням сонячних колекторів та електричним догріванням;

$K_{ск}$  – вартість сонячних колекторів, грн [17];

$K_{ек}$  – вартість електричних котлів, грн [14];

$K_{м.н.}$  – вартість монтажу і налагодження, грн;

$$K_{ск} = 6600000 + 78000 + 500000 = 7178000 \text{ (грн)}.$$

За результатами розрахунків сформовано порівняльну таблицю (табл. 3.7), в якій наведено інформацію про витрати на енергоносії та обладнання, розраховано річну економію та простий термін окупності альтернативних систем опалення по відношенню до діючої водяної, яка отримує енергоносії від КП «Вінницяміськтеплоенерго».

Для прикладу, річна економія коштів від впровадження водяної системи опалення з твердопаливними котлами:

$$E_{mk} = B_{E_T} - B_{\partial p} = 1335145 - 167000 = 1168145 \text{ (грн)},$$

а простий термін окупності такої системи:

$$T_{ок} = \frac{K_{mk}}{E_{mk}} = \frac{500000}{1168145} = 0,43 \text{ (р)}.$$

Таблиця 3.7 – Порівняльна таблиця ефективності альтернативних систем опалення в будівлі за критерієм вартості

Система опалення	Витрати на експлуатацію системи, грн	Вартість обладнання системи, грн	Річна економія, грн	Простий термін окупності, р.
Водяна (від КП «Вінницяміськтеплоенерго»)	1335145	-	-	-
Водяна (твердопаливні котли)	167000	500000	1168145	0,43
Водяна (газові котли)	1021000	680000	314145	2,16
Водяна (електричні котли)	2832000	163000	-	-
Інфрачервоне опалення	2982000	3222000	-	-
Сонячні колектори і догрівання ел. котлами	1888000	7178000	-	-
Теплонасосна установка	708000	1500000	627145	2,39

Як видно з таблиці, за критерієм вартості найбільш ефективними системами є системи з використанням твердопаливних котлів, індивідуальних газових котлів та теплонасосних установок. Системи опалення з використанням сонячних колекторів, електричних котлів та інфрачервоних плівок є менш

ефективні, оскільки витрати на їх експлуатацію більші ніж витрати на діючу систему опалення.

Визначені початкові дані до розрахунків наведені в таблиці 3.8:

Таблиця 3.8 – Початкові дані можливих варіантів системи енергопостачання

Критерії	ПК	ЕК	ВЕС	СЕС	СК+ЕК	ТНУ	КГПД	ІЧ	ГК
Теплова потужність, кВт	600	600	0	0	600	600	45	600	600
Теплова потужність з мережі, кВт	0	0	600	600	0	0	555	0	0
Електрична потужність, кВт	0	0	14	10	0	0	40	0	0
Електрична потужність з мережі, кВт	40	640	40	40	440	190	0	340	40
Зарати на теплову енергію млн грн	0,12	2,5	1,515	1,515	0	0	1,4	0	0,65
Зарати на електроенергію млн грн	0,202	0,202	0	0	1,83	0,8	0	1,25	0,202
X1 – Затрати на енергоносії, млн.грн	0,322	2,702	1,515	1,515	1,83	0,8	1,4	1,25	0,852
X2– Капіталовкладення, млн.грн	0,205	0,075	0,35	0,244	2,1	4,5	0,535	0,84	0,297

Продовження таблиці 3.8 – Початкові дані можливих варіантів системи енергопостачання

X3 – Викиди CO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> , т	33	0	0	0	0	0	0,125	0	0,325
X4 – Кількість золи, т	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0
X5–Вага устаткування, т	0.5	0.5	2.17	1	7.56	0,5	0,5	0,5	0,5
X6–Негативний вплив на персонал (рівень шуму), дБ	20	20	60	20	20	50	80	30	40
X7–Відносна ймовірність відмов	40	10	50	20	30	40	100	10	30

Результати розрахунків варіантів системи теплонергопостачання будівлі за декількома критеріями наведені в таблиці 3.9.

В ній показані частинні та сумарні значення багатокритеріальної функції корисності (якості) .

Таблиця 3.9 – Результати розрахунків варіантів системи теплоенергопостачання будівлі за декількома критеріями

Критерії	ПК	ЕК	ВЕС	СЕС	СК+Е К	ТНУ	КГПД	ІЧ	ГК
X1 - Затрати на енергоносії, млн.грн	4,29· 10 <sup>-1</sup>	2,16· 10 <sup>-1</sup>	3,24· 10 <sup>-1</sup>	3,24· 10 <sup>-1</sup>	2,96· 10 <sup>-1</sup>	3,87· 10 <sup>-1</sup>	3,34· 10 <sup>-1</sup>	3,48· 10 <sup>-1</sup>	3,83·1 0 <sup>-1</sup>
X2 – Капіталовкладення, млн.грн	2,57· 10 <sup>-1</sup>	2,64· 10 <sup>-1</sup>	2,49· 10 <sup>-1</sup>	2,55· 10 <sup>-1</sup>	1,51· 10 <sup>-1</sup>	2,53· 10 <sup>-2</sup>	2,38· 10 <sup>-1</sup>	2,21· 10 <sup>-1</sup>	2,52· 10 <sup>-1</sup>

Продовження таблиці 3.9 – Результати розрахунків варіантів системи теплонергопостачання будівлі за декількома критеріями

X3 – Викиди CO2 SO2 NO2 , т	1,40· 10 <sup>-12</sup>	1,40· 10 <sup>-1</sup>	1,40· 10 <sup>-1</sup>	1,40· 10 <sup>-1</sup>	1,4· 10 <sup>-1</sup>	1,40· 10 <sup>-1</sup>	1,39· 10 <sup>-1</sup>	1,40· 10 <sup>-1</sup>	1,39· 10 <sup>-1</sup>
X4 - Кількість золи, т	2,01· 10 <sup>-3</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>	6,75· 10 <sup>-2</sup>
X5 - Вага устаткування, т	3,53· 10 <sup>-2</sup>	3,53· 10 <sup>-2</sup>	2,66· 10 <sup>-2</sup>	3,27· 10 <sup>-2</sup>	1,8· 10 <sup>-3</sup>	3,53· 10 <sup>-2</sup>	3,53· 10 <sup>-2</sup>	3,53· 10 <sup>-2</sup>	3,5· 10 <sup>-2</sup>
X6 – Негативний вплив на персонал	1,60· 10 <sup>-2</sup>	1,60· 10 <sup>-2</sup>	7,88· 10 <sup>-3</sup>	1,60· 10 <sup>-2</sup>	1,6· 10 <sup>-2</sup>	9,90· 10 <sup>-3</sup>	3,90· 10 <sup>-3</sup>	1,40· 10 <sup>-2</sup>	1,19· 10 <sup>-2</sup>
X7 – Відносна ймовірність відмов	5,40· 10 <sup>-3</sup>	7,92· 10 <sup>-3</sup>	7,92· 10 <sup>-3</sup>	7,10· 10 <sup>-3</sup>	7,9· 10 <sup>-3</sup>	5,40· 10 <sup>-3</sup>	1,49· 10 <sup>-14</sup>	7,92· 10 <sup>-3</sup>	6,26· 10 <sup>-3</sup>
Функція «корисності»	0,746	0,749	0,824	0,843	0,681	0,671	0,820	0,834	0,895

Найкращім є варіант “автономний газовий котел 600 кВт та 40 кВт електричної потужності з електромережі». Він має відносно великі затрати на паливо, проте в нього середні капіталовкладення та добрі екологічні показники. До того ж він найпростіший в реалізації.

Найгіршим є варіант СК+ЕК :сонячні колектори 200 кВт+400 кВт електрокотел; 40 кВт електричної потужності з електромережі. Цей варіант потребує великих затрат на електроенергію та на придбання обладнання, має велику вагу обладнання та велику площу розміщення.

3.6 Економічне обґрунтування заходів енергозбереження в їдальні, розміщеній в будівлі.

В їдальні будівлі працюють 1 електрична плита з 4 комфорками для підігріву води, сумарною потужністю 16 кВт, також стоїть електричний бойлер на 30 л.

Задачі дослідження:

1. Визначення споживання електричної енергії діючим і альтернативним засобом нагрівання питної води;

2. Розрахувати економію електричної енергії під час використання альтернативного варіанту ( поєднання електричного чайника і чайників акумуляторів гарячої води );

3. Розрахувати термін окупності альтернативного варіанту.

Підвищення ефективності приготування гарячої питної води в буфеті

Кількість місяців роботи плити

$N = 9$  (місяців), це мінімальний термін.

Потужність плити:

$P_m = 16$  (кВт).

Графік роботи:

$t_{p1}$  – час роботи роботи двох панелей - 1 година;

$t_{p2}$  – час роботи роботи однієї панелі - 5 годин;

тобто  $t_{p1} = 1$  (год), а  $t_{p2} = 5$  (год).

Кількість літрів яку потрібно нагріти за 1 день:

$V_g = 30$  (л).

Вартість електроенергії:

$C_w = 2,36$  (грн/кВт·год).

Необхідно визначити економію і термін окупності альтернативного варіанту.

Визначимо споживання енергії, яка витрачається за рік.

Кількість робочих днів в місяці в середньому приймаємо за 20.

$P_1, P_2$  – потужності конфорок в їдальні.

Потужність всієї плити у їдальні будівлі 16 кВт, ми використовуємо 1 годину 2 панелі загальною потужністю 8 кВт і 5 год 1 панель потужністю 4 кВт.

Визначимо енергію яка споживалася діючими засобами для підігріву води:

$$W = \sum P \cdot t = P_1 \cdot t_1 \cdot N \cdot n + P_2 \cdot t_2 \cdot N \cdot n ; \quad (3.35)$$

$$W = 8 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 20 + 4 \cdot 5 \cdot 9 \cdot 20 = 5040 \text{ (кВт·год)}.$$

Вартість спожитої електроенергії:

$$B_w = W \cdot C_w ; \quad (3.36)$$

$$B_w = W \cdot C_w = 5040 \cdot 2,36 = 11894,4 \text{ (грн)}.$$

Визначаємо капіталовкладення в альтернативні системі підігріву води:

$$K = N_q \cdot B_q + N_{um} \cdot B_{um} ; \quad (3.37)$$

$$K = N_q \cdot B_q + N_{um} \cdot B_{um} = 2 \cdot 150 + 2 \cdot 720 = 1740 \text{ (грн)}.$$

Визначаємо необхідну кількість разів нагрівання чайника:

$$n_{вкч} = \frac{V_g}{V_c} ; \quad (3.38)$$

$$n_{вкч} = \frac{V_g}{V_c} = \frac{30}{1,7} = 18 \text{ (разів)}.$$

$V_g$  – кількість літрів гарячої води які потрібно нагріти за 1 день;

$V_c$  – об'єм електричного чайника.

Час нагрівання:

$$t_{нагр} = 5хв = 0,08 \text{ (год)}.$$

Електроенергія яка споживається чайником за 1 день:

$$W_q = P \cdot n_{вкч} \cdot t_{нагр} \cdot N \cdot n ; \quad (3.39)$$

$$W_q = 2 \cdot 18 \cdot 0,08 \cdot 9 \cdot 20 = 518,4 \text{ (кВт·год)}.$$

Вартість електроенергії, що витрачається на нагрівання чайника:



$$B_w = W_q \cdot C_e ; \quad (3.40)$$

$$B_w = 518,4 \cdot 2,36 = 1223 \text{ (грн)}.$$

Економія електроенергії за рік експлуатації:

$$E_1 = B_w^{\text{до}} - B_w^{\text{після}} ; \quad (3.41)$$

$$E_1 = 11894 - 1223 = 10617 \text{ (грн)}.$$

Термін окупності альтернативного засобу:

$$T_{ок} = \frac{K}{E} ; \quad (3.42)$$

$$T_{ок} = \frac{1740}{10617} = 0,16 \text{ (років)}.$$

K- вартість одного електричного чайника (вибраний чайник відноситься до сегменту достатньо дорогих приладів).

Отже, застосовуючи експериментальний та аналітичний метод енергоаудиторського аналізу, можна зробити висновок, що якщо ми поміняємо електричні плити для нагрівання гарячої води на електричний чайник то в рік ми будемо економити 10617 грн.

### 3.7 Використання теплонасосної установки (ТНУ)

Постановка задачі.

В існуючому варіанті 200 (n) діб в рік в електронагрівач потужністю 16 кВт гріється 180 кг води. 150 кг (M1) гріються з 15 до 65 градусів, а 30 кг (M2) гріються з 15 до 100 градусів. Вартість 1 кВт·год електроенергії  $c_e$  складає 2.4 грн.

Будемо гріти 180 кг води спочатку в ТНУ тепловою потужністю  $Q_x = Q_c$ , кВт до температури  $\Delta t_x = \Delta t_{\text{пер}}$ , °С а потім догрівати 150 кг до 65 °С, а 30 кг до 100 °С.

Знайдемо такі  $Q_x$  та  $\Delta t_x$  при яких сумарні приведені затрати в систему нагрівання води будуть найменшими.

Схема ТНУ наведена на рис 3.9.

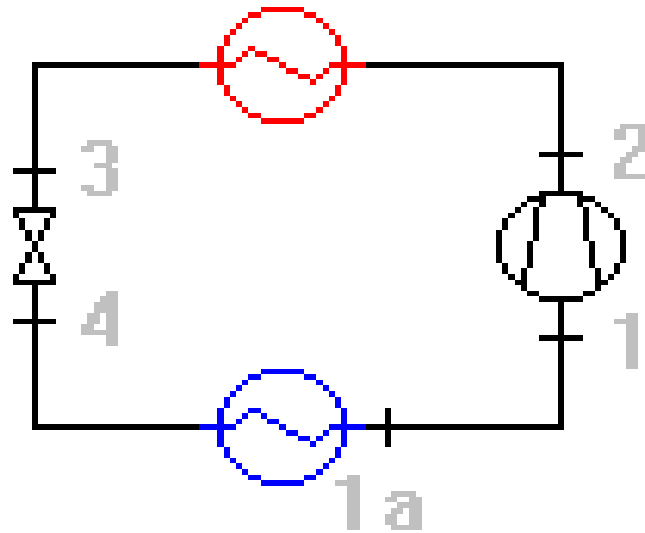


Рисунок 3.9 – Схема для розрахунку ТНУ

1-2-компресор, 2-3-конденсатор, 3-4-дросельний вентиль, 4-1а-випарник.

Для розрахунків схеми використана програма FKW Cycle Calculation Program з Інтернету.

Початковими даним для програми є:

$\Delta t_{\text{пер}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  – температура нагрівання води в ТНУ

$Q_{\text{тну}}$ , кВт – потужність випарника.

Вихідні результати розрахунку:

$P$ , кВт – потужність компресора

$Q_c$ , кВт – потужність конденсатора

Інтерфейс програми FKW Cycle Calculation Program наведений на рис. 3.10

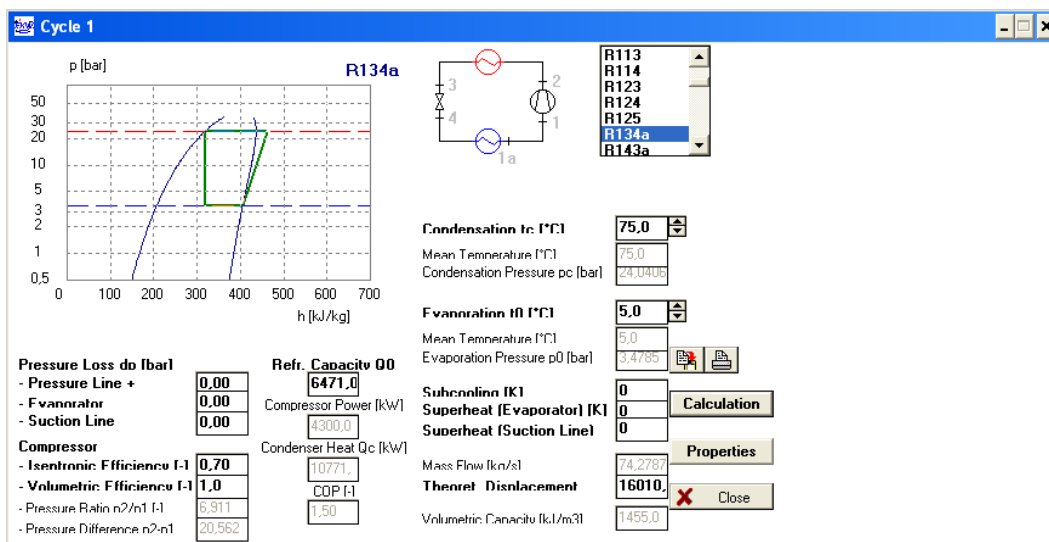


Рисунок 3.10 – Інтерфейс програми FKW Cycle Calculation Program

Температури нагрівання води в ТНУ  $\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$  приймаємо  $40^0, 50^0, 60^0, 70^0$  а максимум до якого може нагрітися вода  $78^0$ , Потужності випарника  $Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$  приймаємо 6, 8, 10, 12кВт. Результати розрахунків потужності компресора та теплової потужності конденсатора наведені в таблицях.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунків при  $Q_{\text{ТНУ}} 6 \text{ кВт}$ .

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$	$P, \text{кВт}$	$Q_{\text{с}}, \text{кВт}$
$40^0$	6	2,11	8,35
$50^0$	6	2,71	8,97
$60^0$	6	3,44	9,72
$70^0$	6	4,38	10,70
$78^0$	6	5,35	11,71

Таблиця 3.11 – Результати розрахунків при  $Q_{\text{ТНУ}} 8 \text{ кВт}$ .

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$	$P, \text{кВ}$	$Q_{\text{с}}, \text{кВ}$
$40^0$	8	2,82	11,13
$50^0$	8	3,62	11,96
$60^0$	8	4,59	12,96
$70^0$	8	5,84	14,27
$78^0$	8	7,13	15,61

Таблиця 3.12 – Результати розрахунків при  $Q_{\text{тнУ}}$  10 кВт.

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{тнУ}}, \text{кВт}$	$P, \text{кВ}$	$Q_{\text{с}}, \text{кВ}$
$40^0$	10	3,52	13,91
$50^0$	10	4,52	14,94
$60^0$	10	5,73	16,20
$70^0$	10	7,30	17,83
$78^0$	10	8,91	19,52

Таблиця 3.13 – Результати розрахунків при  $Q_{\text{тнУ}}$  12 кВт.

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{тнУ}}, \text{кВт}$	$P, \text{кВ}$	$Q_{\text{с}}, \text{кВ}$
$40^0$	12	4,22	16,69
$50^0$	12	5,42	17,93
$60^0$	12	6	19,45
$70^0$	12	8,76	21,40
$78^0$	12	10,70	23,42

Визначимо  $Q_{\text{сум}}$  при  $Q_{\text{x}} = 6 \text{ кВт}$ .  $t_{\text{x}} = 40^0$ .

З таблиці 4.1.: потужність приводу компресора  $P = 2,11 \text{ кВт}$ , потужність конденсатора  $Q_{\text{с}} = 8,35 \text{ кВт}$ .

Кількість теплоти, яку отримує вода що гріється за час роботи приводу компресора ТАУпр:

$$Q_{\text{с}} \text{ТАУ}_{\text{пр}} = c \cdot m \cdot (t_{\text{x}} - t_1), \quad (3.43)$$

$$Q_{\text{с}} \cdot \text{ТАУ}_{\text{пр}} = 4,2 \cdot 180 \cdot (40 - 15) = 18900 \text{ (кДж)}.$$

Визначимо час роботи приводу компресора ТАУ пр :

$$\text{ТАУ}_{\text{пр}} = Q_{\text{с}} \cdot \text{ТАУ}_{\text{пр}} / Q_{\text{с}}, \quad (3.44)$$

$$\text{ТАУ}_{\text{пр}} = \frac{18900}{8,35 \cdot 3600} = 0,63 \text{ (год)}.$$

Затрати на електроенергію приводу  $Z_{THV}$  :

$$Z_{THV} = P \cdot TAU_{np} \cdot c_e, \quad (3.45)$$

$$Z_{THV} = 2,11 \cdot 0,63 \cdot 2,4 = 3,2 \text{ (грн)}.$$

Теплова потужність існуючого догрівача дорівнює його електричній потужності

$$Q_d = P = 16 \text{ кВт}.$$

Визначимо час роботи догрівача  $TAU_d$  :

$$Q_c TAU_d = c \cdot m \cdot (t_2 - t_x) = 4,2 \cdot 150 \cdot (65 - t_x) + 4,2 \cdot 30 \cdot (100 - t_x), \quad (3.46)$$

$$Q_c TAU_d = 4,2 \cdot 150 \cdot (65 - 40) + 4,2 \cdot 30 \cdot (100 - 40) = 23310 \text{ (кДж)}.$$

$$TAU_d = \frac{Q_d TAU_d}{Q_d \cdot T}, \quad (3.47)$$

$$TAU_d = \frac{23310}{16 \cdot 3600} = 0,4064 \text{ (год)}.$$

Витрати на електроенергію догрівача  $Z_d$  :

$$Z_d = Q_d \cdot TAU_d \cdot c_e, \quad (3.48)$$

$$Z_d = 16 \cdot 0,4064 \cdot 2,4 = 15,6 \text{ (грн)}.$$

Витрати на електроенергію приводу ТНУ та догрівача  $Z_{ee}$  за добу:

$$Z_{ee} = Z_{THV} + Z_d, \quad (3.49)$$

$$Z_{ee} = 3,2 + 15,6 = 18,8 \text{ (грн)}.$$

Витрати на електроенергію приводу ТНУ та догрівача  $Z_{eep}$  за рік:

$$Z_{\text{еер}} = Z_{\text{ее}} \cdot n, \quad (3.50)$$

$$Z_{\text{еер}} = 18,8 \cdot 200 = 3760 \text{ (грн)}.$$

Капіталовкладення в ТНУ:

$$K = Q_c \cdot C_{\text{ТНУ}}, \quad (3.51)$$

$$K = 8,35 \cdot 3000 = 25050 \text{ (грн)}.$$

Капіталовкладення в догрівач Кд:

$$K_{\text{д}} = Q_{\text{д}} \cdot c_{\text{д}}, \quad (3.52)$$

$$K_{\text{д}} = 16 \cdot 100 = 1600 \text{ (грн)}.$$

Сумарні приведені затрати на варіант  $Z_{\text{сум}}$ :

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{еер}} + 0,1 \cdot (K_{\text{ТНУ}} + K_{\text{д}}), \quad (3.53)$$

$$Z_{\text{сум}} = 3760 + 0,1 \cdot (25050 + 1600) = 6425 \text{ (грн)}.$$

Аналогічно визначимо  $Z_{\text{сум}}$  для температур  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $78^\circ\text{C}$ , та для потужності  $Q_{\text{ТНУ}}=8,10,12\text{кВт}$ .

Таблиця 3.14 – Сумарні приведені затрати при  $Q_{\text{ТНУ}}=6\text{ кВт}$ .

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$	$Z_{\text{сум}}, (\text{грн})$
$40^0$	6	6425
$50^0$	6	6063
$60^0$	6	5768
$70^0$	6	5716
$78^0$	6	6571

Таблиця 3.15 – Сумарні приведені затрати при  $Q_{\text{ТНУ}}=8$  кВт.

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$	$Z_{\text{сум}}, (\text{грн})$
40 <sup>0</sup>	8	7239
50 <sup>0</sup>	8	6887
60 <sup>0</sup>	8	6744
70 <sup>0</sup>	8	6785
78 <sup>0</sup>	8	7751

Таблиця 3.16 – Сумарні приведені затрати при  $Q_{\text{ТНУ}}=10$  кВт.

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$	$Z_{\text{сум}}, (\text{грн})$
40 <sup>0</sup>	10	8093
50 <sup>0</sup>	10	7781
60 <sup>0</sup>	10	7705
70 <sup>0</sup>	10	7863
78 <sup>0</sup>	10	8914

Таблиця 3.17 – Сумарні приведені затрати при  $Q_{\text{ТНУ}}=12$  кВт.

$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{ТНУ}}, \text{кВт}$	$Z_{\text{сум}}, (\text{грн})$
40 <sup>0</sup>	12	8924
50 <sup>0</sup>	12	8678
60 <sup>0</sup>	12	8265
70 <sup>0</sup>	12	12200
78 <sup>0</sup>	12	10087

Як видно з таблиць, оптимальна потужність ТНУ складає 6 кВт, а оптимальна температура нагрівання води в ТНУ дорівнює 40 градусів.

### 3.8 Заміна електронагрівання води газовим нагрівом

Початкові дані. 200 (n) діб в рік в електронагрівачах потужністю 16 кВт гріється 180 кг води. 150 кг (M1) гріються з 15 до 65 градусів, а 30 кг (M2)

гріються з 15 до 100 градусів. Вартість 1 кВт·год електроенергії  $c_e$  складає 2.4 грн. Вартість 1 м куб газу  $c_g$  складає 8.2 грн.

Необхідно зменшити річні затрати на енергію підігрівання води.

План розрахунків.

1. Визначення річних затрати на електроенергію підігрівання води в існуючому варіанті .

2. Визначення економії від застосування підігрівання води газом замість електроенергії

Визначення річних затрати на електроенергію підігрівання води в існуючому варіанті .

Необхідна кількість тепла:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) ; \quad (3.54)$$

Визначимо теоретичну кількість нагрівання 1 кг води до кипіння електроенергією  $E_T$

$$1 \text{ (кВт·год)} = 3600 \text{ (кДж)}.$$

$$357 \text{ (кДж)} = 0,1 \text{ (кВт·год)}.$$

Теоретична вартість нагрівання електроенергією:

$$C_e = E_T \cdot c_e ; \quad (3.55)$$

$$C_{ee} = 2,4 \cdot 0,1 = 0,24 \text{ (грн)}.$$

Експериментально визначена фактична витрата електроенергії. Нагрів 1 кг води до кипіння нагрівачем потужністю 1.8 кВт відбувся за 4 хвилини.

Витрачена фактична енергія  $E_\phi$ :

$$E_\phi = t \cdot P ; \quad (3.56)$$

$$E_\phi = 0,06 \cdot 1,8 = 0,12 \text{ (кВт·год)}.$$



Фактична вартість нагрівання електроенергією:

$$C_{\phi} = E_{\phi} \cdot c_{\phi} ; \quad (3.57)$$

$$C_{\phi} = 2,4 \cdot 0,12 = 0,288 \text{ (грн).}$$

Визначимо теоретичну вартість нагрівання 1 кг води до кипіння газом. Теплота згоряння 1м куб газу складає 33700 кДж. Теплоту 357 кДж забезпечить теоретично  $V=0,0106$  м куб. газу.

Теоретична вартість нагрівання газом:

$$C_{Г} = E_{\phi} \cdot c_{\phi} ; \quad (3.58)$$

$$C_{Г} = 8,2 \cdot 0,0106 = 0,08 \text{ (грн).}$$

Експериментально визначена фактична витрата газу складає  $V_{\phi} = 0,026$  м куб.

Фактична вартість газу  $C_{Г\phi}$  :

$$C_{Г\phi} = c_{Г} \cdot V_{\phi} ; \quad (3.59)$$

$$C_{Г\phi} = 8,2 \cdot 0,026 = 0,213 \text{ (грн).}$$

Визначимо ККД електронагрівача:

$$ККД_e = \frac{E_{Г}}{E_{\phi}} ; \quad (3.60)$$

$$ККД_e = \frac{0,1}{0,12} = 0,84 .$$

Визначимо ККД газової плити:

$$KKД_{г} = \frac{V}{V_{\phi}} ; \quad (3.61)$$

$$KKД_{г} = \frac{0,0106}{0,026} = 0,41 .$$

Визначимо фактичні затрати на електроенергію нагрівання води до кипіння за добу  $E_{дк}$  :

$$E_{дк} = M_1 \cdot C_{ef} ; \quad (3.62)$$

$$E_{дк} = 30 \cdot 0,288 = 8,64 \text{ (грн).}$$

Визначимо фактичні затрати на електроенергію нагрівання води до 65 градусів в добу  $E_{дн}$  :

$$E_{дк} = M_2 \cdot C_{ef} ; \quad (3.63)$$

$$E_{дк} = 150 \cdot 0,169 = 25,41 \text{ (грн).}$$

Фактичні затрати на електроенергію нагрівання води в добу  $E_{д}$  :

$$E_{д} = E_{дк} + E_{дн} ; \quad (3.64)$$

$$E_{д} = 8,64 + 25,41 = 34 \text{ (грн).}$$

Фактичні річні затрати на електроенергію нагрівання води  $E_{р}$  :

$$E_{р} = E_{д} \cdot n ; \quad (3.65)$$

$$E_{р} = 34 \cdot 200 = 6800 \text{ (грн).}$$

Розглянемо варіант застосування газу замість електроенергії для нагрівання води. Нагрів води будемо виконувати в газовому кип'ятильнику. На рис. 3.10. показана схема газового кип'ятильника КНД-8. Кип'ятильник безперервної дії КНД-8М (рис. 3.11) призначений для безперервного приготування окропу. Він складається з топкової камери 8 з розміщеною в ній пальником 1, підігрівальні камери 9, кип'ятильника-резервуара 7, збірки окропу 5 і поживного бачка 3. Холодна вода під тиском водопровідної мережі надходить через живильний бачок 3 в підігрівальні камери 9. Нагріваючись до  $60 - 70^{\circ} \text{C}$ , вода по двом циркуляційних трубках надходить в кип'ятильний резервуар 7 і, нагріваючись до  $100^{\circ} \text{C}$ , починає кипіти, вихлюпуючись через перекидну трубку 4 в резервуар 5 для збору окропу. За рахунок поплавкового клапана живильного бачка 3 рівень води в перекидній трубці підтримується на висоті 70 - 80 мм від відкритого кінця трубки. При переповненні збірника окропу надлишки перетікають в порожнисту сорочку живильного бачка, звідки по сигнальній трубці 2 зливаються назовні. У кип'ятильнику застосований інжекційний багатофакельний пальник низького тиску з насадкою циліндричної форми. Відпрацьовані гази газу через патрубок 6 відводяться в димар.

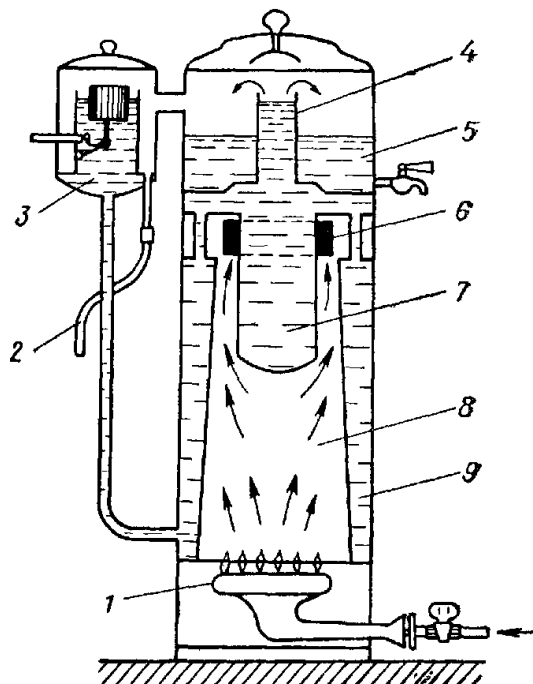


Рисунок. 3.11 – Схема газового кип'ятильника КНД-8

Технічні характеристики кип'ятильника КНД-8наступні

Теплова потужність, кВт	23
ККД, %	75
Продуктивність за окропом,	150 - 215
Час закипання води, хвилин	15 - 20

Визначимо фактичні затрати на газ нагрівання води до кипіння за добу  $E_{ГДК}$  :

$$E_{ГДК} = M_1 \cdot C_{Гф} ; \quad (3.66)$$

$$E_{ГДК} = 30 \cdot 0,213 \cdot \frac{0,41}{0,75} = 3,5 \text{ (грн).}$$

Визначимо фактичні затрати на газ для нагрівання води до 65 градусів за добу  $E_{ГДН}$  :

$$E_{ГДН} = M_2 \cdot C_{Гф} ; \quad (3.67)$$

$$E_{ГДН} = 31,95 \cdot 0,31 = 10,3 \text{ (грн).}$$

Фактичні затрати на газ для нагрівання води за добу  $E_{ГД}$  :

$$E_{ГД} = E_{ГДК} + E_{ГДН} ; \quad (3.68)$$

$$E_{ГД} = 3,5 + 10,3 = 13,8 \text{ (грн).}$$

Фактичні річні затрати на газ нагрівання води  $E_{ГР}$  :

$$E_{ГР} = E_{Д} \cdot n ; \quad (3.69)$$

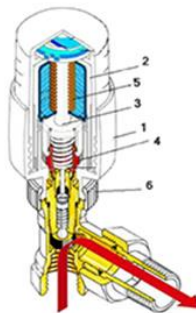
$$E_{ГР} = 13,8 \cdot 200 = 2760 \text{ (грн).}$$

Переведення на газ знижує затрати на енергію підігріву води на 59%.

Річна економія затрат складає  $6800 - 2760 = 4040$  гривень. Приймавши термін окупності нагрівача 3 роки оцінимо його вартість в 12 000 гривень, що є можливим. Для прикладу: газовий водонагрівач (колонка) BOSCH WR 15-2 P потужністю 26,2 кВт з витратою газу 3,2 куб. м/год коштує 8400 гривень.

### 3.9 Використання термоголовок для радіаторів

Досить значну частину свого часу осінньо-зимовий період ми знаходимося в внутрішніх приміщеннях різних будівель. І відповідно, внутрішній температурний комфорт відіграє важливу роль у нашому повсякденному житті. Для отримання оптимального рівня комфорту в приміщеннях застосовують такий елемент терморегулювання, як термоголовки для радіаторів.



1. Корпус термоголовки.
2. Сильфон з наповнювачем.
3. Шток.
4. Штовхач.
5. Поворотна пружина.
6. Елемент з'єднання.

Рисунок. 3.12 – Термоголовка

#### Принцип роботи:

Нагріте кімнатне повітря впливає на сильфонний наповнювач, який знаходиться в замкнутому просторі. В результаті розширення наповнювача, сам сильфон збільшується в об'ємі, і безпосередньо через шток з штовхачем починає вплив на штифт термостатичного клапана. У середині клапана шток з золотником переміщується вниз, пропускна здатність проходу зменшується, і тим самим обмежується кількість теплоносія, яке надходить в радіатор. При зменшенні температури повітря в кімнаті відбувається зворотний процес.

Охолоджуючись, сильфон зменшується в об'ємі, шток термостатичного клапана під дією пружини піднімається вгору, пропускна здатність збільшується, кількість теплоносія в одиницю часу проходить більше, і відповідно радіатор віддає більше тепла в приміщення. Таким чином

термоголовка підтримує в автоматичному режимі задану температуру з точністю до 1 ° С, створюючи оптимальний комфорт в приміщеннях.



Рисунок. 3.13 – Процес нагрівання кімнатної батареї.

Переваги використання термоголовок:

1. Миттєве реагування на зміну температури в приміщенні шляхом збільшення або зменшення витрат теплоносія
2. Високий рівень температурного комфорту в приміщенні, температура не "скаче"
3. Просте програмування
4. Можливість програмування термоголовки в трьох варіантах. Для кожного дня тижня можна задати 7 температурних режимів. Можливість завдання температури в автоматичному режимі за допомогою кільця регулятора.
5. Два режими роботи - ручний і автоматичний (по заданій тижневій програмі). У режимі "відпустка" можна задати конкретну температуру до певного часу. бездротове управління електронної термоголовкою великий дисплей зручний для контролю і управління.
6. Безпроводне управління електронної термоголовкою.
7. Великий дисплей зручний для контролю і управління.
8. Максимально простий монтаж - всього 3 операції.
9. Управління за допомогою пульта дистанційного керування з відстані до 30 метрів[1].

## Висновки

Здійснені дослідження заходів з енергозбереження методами енергоаудиторського аналізу.

В результаті перевірки ефективності встановлення засобів КРП на шинах 10 кВ РП підстанцій організації з використанням аналітичного методу аналізу встановлено, що у випадку реалізації даного заходу економія коштів складатиме орієнтовно 150000 грн в рік. Термін окупності заходу – 2 роки.

Здійснено техніко-економічне обґрунтування заміни люмінесцентних ламп на світлодіодні. Встановлено, що у випадку комплексної заміни економія коштів складе понад 200000 грн/рік, а простий термін окупності не перевищує 1,2 роки.

З використанням статистичних методів енергоаудиторського аналізу проведено аналіз зміни норм використання теплової енергії протягом останніх трьох років на опалення одного градусо-дня. Дослідження показали, що в 2017 році організаційні заходи по регулюванню тепловикористання були вдвічі ефективніші ніж в 2016 році. Зниження споживання теплової енергії викликані змінами в організації регулювання в теплових вузлах. Отримані статистичні залежності вказують на ефективність оптимізації регулювання подачі теплової енергії і недопущення значного переохолодження корпусів, підвищення рівня організаційних заходів, регулярного контролю та аналізу енергоспоживання.

Побудовано регресійні залежності споживання теплової енергії будівлею від кількості градусоднів протягом місяців., які показують, що за однакових температурних умов кількість спожитої енергії відрізняється і залежить від вжитих енергозберігаючих організаційно-технічних заходів і дозволяють прогнозувати теплоспоживання будівлі. Найкраща залежність може вважатись нормативною.

Виконані дослідження системи теплоенергопостачання (СТЕП) будівлі з традиційними та відновлювальними джерелами енергії. Зроблений системний аналіз 9 варіантів комбінацій джерел енергії. Призначені екологічні, технічні та вартісні критерії оцінки варіантів. За однокритеріальною (вартісною) оцінкою

найбільш ефективним є варіант з твердопаливним котлом. За багатокритеріальною оцінкою найкращим є варіант “автономний газовий котел та відбір електроенергії з електричної мережі.”. Він має відносно великі затрати на паливо, проте в нього середні капіталовкладення та добрі екологічні показники. До того ж він найпростіший в реалізації.

Розглянуті заходи енергозбереження в буфеті що знаходиться в приміщенні будівлі розрахунках використані наступні експериментально визначені авторкою роботи дані. Витрата газу для нагрівання 1 л води від 15 градусів до температури кипіння на газовій плиті складає 0,026 м<sup>3</sup>, ККД використання теплоти згорання газу 41%, вартість витраченого газу 0,213 грн. Витрати електроенергії нагрівання 1 л води від 15 градусів до температури кипіння в електрочайнику складає 0,12 квт·год, ККД використання електроенергії 84%, вартість витраченої електроенергії 0,288 грн.

Заміна електричної плити для нагрівання води на електричні чайники щорічно заощадити 10620 грн, а термін окупності складає 0.2 роки.

Заміна електронагрівання води газовим нагрівом знижує затрати на енергію підігріву води на 59 %.

При нагрівання води в ТНУ да догріванню її в електронагрівачу оптимальна потужність ТНУ складає 6 кВт, а оптимальна температура нагрівання води в ТНУ дорівнює 40 градусів.

Важливим заходом для енергозбереження зазначено використання сучасних термоголовок для радіаторів, які дозволяють здійснювати економію теплової енергії в кожній аудиторії в залежності від факторів, які можуть бути запрограмовані.

Запропоновано підвищити енергоефективність системи освітлення шляхом встановлення сенсорів руху.



## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

В даній магістерській дипломній роботі розробляються заходи з використання можливостей нічного провалу електроспоживання та підвищення ефективності енергозбереження установи з використанням методів енергоаудиторського аналізу.

Згідно ГОСТ 12.0.003-74, на співробітників дослідної лабораторії впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори.

Фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, емоційне перевантаження).

### 4.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації діагностичного стенду

#### 4.2.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Загальна площа приміщення дослідної лабораторії складає 94 м<sup>2</sup>, в якому розміщений персонал та виробниче обладнання. Висота приміщення складає 3,3 м. Приміщення освітлюється за допомогою штучного освітлення [52].

План приміщення лабораторії представлений на рисунку 4.1.

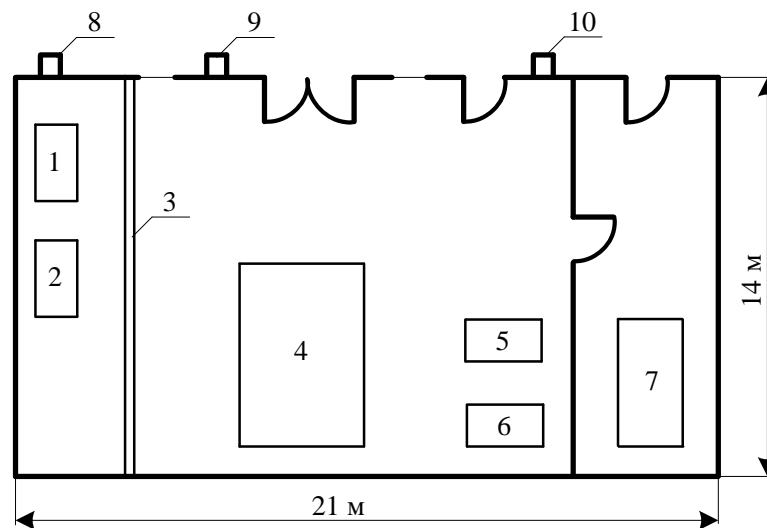


Рисунок 4.1 – План дослідної лабораторії

На рисунку 4.1 прийняті наступні позначення: 1, 2 – шафи для документації; 3 – стенд з діаграмами, схемами та алгоритмами досліджень; 4 – стенд для досліджень; 5, 6 – комп’ютеризовані робочі місця; 7 – шафа для інструментів та обладнання; 8, 9, 10 – обладнання для кондиціонування та вентиляції приміщення.

Живлення обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьох провідної трифазної мережі з глухо заземленою нейтраллю 380 х 220В (фазна напруга фаза ( фаза – «0») – 220В, а між фазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам [51]:

1. Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;
- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні: написи, таблички, попереджувальні знаки;
- підведення кабелів до споживачів здійснюється у закритих конструкціях підлоги.

2. При живленні однофазних споживачів струму від три провідної мережі при напрузі до 1000В використовується нульовий захисний провідник. За умови його використання, пробій на корпус призводить до короткого замикання. В свою чергу спрацьовує захист і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3. Електрозахисні засоби захисту.

При обслуговуванні електричного обладнання потрібно дотримуватись наступних основних правил безпеки:

1. Необхідно візуально обстежити установку у відповідності з інструкцією по експлуатації і переконатися в її повній справності;

2. Забороняється експлуатація установок з несправним керуванням і звуко/світловими сигналами. Якщо немає можливості усунення пошкодження на місці своїми силами, необхідно залучити до робіт фахівців спеціалізованої організації.

3. Забороняється керування установкою вологими або замасленими руками;

4. Рух обладнання, що досліджується, повинен здійснюватись на безпечній швидкості;

5. Роботи по монтажу і модернізації системи керування проводяться за допомогою справного інструменту.

Для забезпечення безпечного ведення робіт обслуговуючий персонал зобов'язаний суворо дотримуватись правил безпеки при експлуатації, технічному обслуговуванні установок. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до отримання травм та втрати працездатності.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмопровідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух,

необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

#### 4.2.2 Електробезпека

У приміщенні де здійснюються дослідження використовується трифазна чотиріпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочих приміщеннях є струмопровідною.

Загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробую і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних

сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

### 4.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

#### 4.3.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення - це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відносною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Оптимальні параметри мікроклімату в кабіні за технологічними вимогами забезпечити неможливо по технічним та економічним причинам, тому встановлюються допустимі параметри. Крім того, між людиною та навколишнім середовищем відбуваються процес безперервного теплового обміну, при цьому слід враховувати, що незалежно від температури

навколишнього середовища (влітку сонце нагріває кабінку оператора крану до температури 50-60 °С, а взимку до 0 °С) температура людини залишається постійною - 36,5-37 С. вологість в свою чергу значно впливає на терморегуляцію організму людини.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Іа, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в кабінці крану наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Іб	21-28	55 при 27°С	0,1-0,3
Холодний	Іб	20-24	75	Не більше 0,2

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів.

#### 4.3.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- періодичні провітрювання приміщення лабораторії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

#### 4.3.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу на станції освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення кабіни оператора забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці в кабіни. Кабіна відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Норми освітлення робочих поверхонь

Характеристики зорової роботи		Малої точності
Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання, мм		Від 1 до 5
Розряд зорової роботи		V
Підрозряд зорової роботи		б
Контраст об'єкта розпізнавання з фоном, фон		Середній
Характеристика фону		Темний
Освітленість	Загальне	150
Штучне освітлення	Комбіноване	200

В приміщенні лабораторії, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природнього освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення (таблиця 13.4). Штучне освітлення здійснюється лампами розжарювання, що живляться від трансформатора власних потреб (12В).

Таблиця 4.4 – Вибір освітлюваного пристрою

Тип світильника	Лампа розжарювання
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність ламп, Вт	До 200

Згідно [10]: характер зорової роботи при роботі з об'єктами розрізнення 1-5 мм – мала точність; розряд – V; бокове; значення коефіцієнта природної освітленості, %: природне 1,0, суміщене 0,6.

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (4.1)$$

де  $m_N$  – коефіцієнт світлового клімату,

$m_N$  при орієнтації вікон на північ ( $m_N = 0,9$ );



$$e_N = 1,0 \cdot 0,9 = 0,9\%.$$

Для забезпечення нормативного значення  $e_N$  передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме ламп розжарювання;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком

#### 4.3.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right) = 20 \lg \left( \frac{U}{U_0} \right), \quad (4.2)$$

де  $L$  – рівень шуму, дБ;

$P$  – звуковий тиск, Па;

$U_0$  – коливальна швидкість,  $5 \cdot 10^{-8}$  м/с;

$P_0$  – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень (таблиця 13.5), є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 4.5 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунку, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

#### 4.3.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У приміщенні, де розташований шахтний підйомник, присутня вібрація

типу – загальна. Тобто технологічна вібрація діюча на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації приведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Середньоквадратичні значення параметрів вібрації

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані за частотою та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	дБ	$m \cdot c^{-2} \cdot 10^{-2}$	дБ
Загальна	$Z_o, Y_o, X_o$	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

#### 4.3.6 Психофізіологічні фактори

а) Класи умов праці за показниками важкості праці:

Загальні енергозатрати організму (кг/м):

Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кг/(Вт);

При місцевому навантаженні(для чоловіків) - 12 000(40);

При загальному навантаженні ( за участю м'язів рук, тулуба, ніг) - 40 000(80);

Маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60 000;

При місцевому навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30 000;

Статичне навантаження (кг/с):

Двома руками (чоловіки) – до 70 000;

За участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза:

Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни

Нахил тулуба:

Вимушені нахили протягом зміни – 150 разів;

Переміщення у просторі(переходи задля технологічного процесу) – більше 12

б) Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи - рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка - сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) - до 50;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) - до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80;

Навантаження на голосовий апарат ( протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності - є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

Тривалість робочого дня - більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

4.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Деякі надзвичайні ситуації за масштабами поширюються майже на всі сфери життя, негативно впливають на соціально-психологічний стан і економіку нашої країни. У певних регіонах України з високою густотою населення розташовані об'єкти з підвищеною небезпекою, а це різко посилює небезпеку можливих стихійних лих, аварій і катастроф техногенного походження. Внаслідок надзвичайних ситуацій гинуть люди, завдаються матеріальні збитки населенню і державі.

В результаті опромінення іонізуючим випромінюванням зміниться струм; в конденсаторах понизиться напруга пробною і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність, діелектрична провідність і тангенс кута втрат.

Дія електромагнітного імпульсу може призвести до згорання чутливих електричних та електронних елементів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях.

Електромагнітне випромінювання пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Найбільш частіше одержують пошкодження вхідні кола різних електронних пристроїв.

Так як, іонізуюче випромінювання шкідливо впливає на систему енергопостачання, то необхідно провести розрахунок оцінки впливу випромінювання та ЕМІ на стійкість роботи системи енергопостачання.

4.4.1 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань.

Проведемо аналіз системи енергопостачання з метою визначення граничного значення дози.

Визначаємо граничні значення дози опромінення  $D_{гр}$  для елементної бази системи, при яких виникають зворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 – Граничні значення експозиційних доз елементів системи енергопостачання

№п/п	Блоки	Елементи РЕА	$D_{igr}, P$	$D_{гр}, P$
1	Блок живлення	Інтегральні схеми К1553ЛА	$5 \cdot 10^5$	$10^4$
		Резистори СП1-10	$10^7$	
2	Блок керування	Інтегральні схеми К1553ЛБ	$5 \cdot 10^5$	
		Конденсатори К-41	$10^7$	
		Мікросхеми ТТЛОАЗ 247	$10^5$	
		Резистори СП1-15	$10^7$	
3	Силові елементи	Резистори СП1-20	$10^7$	
		Оптрони К249КН1	$10^4$	
		Інтегральні схеми К511	$5 \cdot 10^5$	

За критерій стійкості приймається  $D_{гр}$  - мінімальне значення дози радіоактивного випромінювання для всіх елементів. В нашому випадку  $D_{гр}=10^4 P$ .

Тепер визначимо можливу дозу опромінення:

$$D_{.m} = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{noc}} [P]; \quad (4.3)$$

Тоді можлива доза опромінення буде дорівнювати:

$$D_m = \frac{2 \cdot 6,43 \cdot (\sqrt{35040} - \sqrt{1})}{2} = 1197,2 \text{ (P)}.$$

Так як  $D_m < D_{гр}$  то РЕА в енергетичній системі буде працювати стійко. Визначаємо допустимий час роботи за формулою:

$$t_{дон} = \left( \frac{D_{сп} \cdot K_{носл} + 2 \cdot P_{1max} \sqrt{1}}{2 \cdot P_1} \right)^2 [\text{год}]; \quad (4.4)$$

$$t_{дон} = \left( \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 6,43 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,43} \right)^2 = 2421789,4 \text{ (год)}.$$

Отже, електрична апаратура буде працювати стійко, оскільки гранична доза радіоактивного випромінювання є більшою за можливу дозу іонізуючого випромінювання  $D_{гр} > D_m$ , яке може діяти на елементи системи.

#### 4.4.2 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи СЕП або окремих її елементів в умовах дії електромагнітного імпульсу можна прийняти коефіцієнт безпеки:

$$K_B = 20 \lg \frac{U_{дон}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 \text{ дБ}, \quad (4.5)$$

де  $U_d$  - допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{B(\Gamma)}$  - наруга наведення за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Початковими умовами оцінки стійкості є:

- вертикальна складова напруженості електричного поля  $E_B=8,93$  кВ/м;
- допустиме коливання напруги живлення  $U_{ж}=5\%$ , В

Знаходимо допустиме коливання напруги живлення та системи керування за формулою:

$$U_{д} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N [В], \quad (4.6)$$

де  $U_{ж}$  – напруга живлення, В;

$N$  – допустиме відхилення напруги, %

$$U_{д1} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 (В) ,$$

$$U_{д2} = 110 + \frac{110}{100} \cdot 5 = 115,5 (В) ,$$

$$U_{д3} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 52,29 (В) ,$$

Максимальна довжина струмоведучих частин:

- блок живлення  $l_{в1} = 3,5$  м;  $l_{г1} = 4,8$  (м);

- блок керування  $l_{в2} = 2,4$  м;  $l_{г2} = 5,6$  (м);

- силові елементи  $l_{в3} = 6,3$  м;  $l_{г3} = 7,1$  (м);

Знаходимо напруженість поля горизонтальної складової:

$$E_2 = 10^{-3} \cdot E_{вмакс}, [кВ/м]; \quad (4.7)$$

$$E_2 = 8,93 \cdot 10^{-3} (кВ/м).$$

Визначаємо напругу наводки у вертикальних струмопровідних частинах:

$$U_г = E_2 \cdot l_г, [В], \quad (4.8)$$

де  $l_г$  - максимальна довжина провідників, розташованих вертикально, м.



$$U_{B1} = 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 = 31,255 \text{ (В)},$$

$$U_{B2} = 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4 = 21,432 \text{ (В)},$$

$$U_{B3} = 8,93 \cdot 10^{-3} \cdot 6,3 = 56,259 \text{ (В)},$$

Визначаємо максимальну напругу наводки у горизонтальних струмопровідних частинах:

$$U_z = E_6 \cdot l_z, \text{ [В]}, \quad (4.9)$$

де  $l_z$  - максимальна довжина провідників, розташованих горизонтально, м.

$$U_{Г1} = 8,93 \cdot 10^3 \cdot 4,8 = 42864 \text{ (В)},$$

$$U_{Г2} = 8,93 \cdot 10^3 \cdot 5,6 = 50008 \text{ (В)},$$

$$U_{Г3} = 8,93 \cdot 10^3 \cdot 7,1 = 63403 \text{ (В)},$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки.

Для вертикальних струмопровідних частин:

$$K_{\partial B1} = 20 \lg \frac{U_{\partial}}{U_B} \text{ [дБ]}, \quad (4.10)$$

$$K_{\partial B1} = 20 \lg \frac{399}{31,255} = 22,7 \text{ (дБ)}.$$

Для горизонтальних струмопровідних частин:

$$K_{\partial B1} = 20 \lg \frac{U_{\partial}}{U_{Г}} \text{ [дБ]}, \quad (4.11)$$

$$K_{\partial B1} = 20 \lg \frac{399}{42864} = -39,9 \text{ (дБ)}.$$

Дані розрахунків занесем в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати оцінки стійкості блоків СЕП

№	Елемент схеми	Напруга живлення	$K_{БВ}, (дБ)$	$K_{БГ}, (дБ)$	Результат
1	Блок живлення	380 В	22,7	-39,9	нестійкий
2	Блок керування	110 В	15,3	-52,1	нестійкий
3	Силові елементи	12 В	-12,3	-73,4	нестійкий

Оскільки  $K_{БВ} < 40$  дБ ,  $K_{БГ} < 40$  дБ то апаратура буде нестійка в роботі, потрібно проводити захисне екранування обладнання.

#### 4.5 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи енергопостачання в умовах загрозливих чинників НС

Основними способами захисту від теплового (світлового) випромінювання є: розміщення апаратури в спорудах, побудованих з негорючих матеріалів, або обробка спалимих матеріалів захисними складами; заміна горючих елементів на вогнетривкі; постачання світлоприймача апаратури закритими світлопроводами або захист їх будівлі для зменшення ймовірності прямого впливу світлового випромінювання; постачання апаратури системою автоматичної вентиляції для підтримки температури всередині блоків на допустимому рівні.

Доцільно виконати захисне екранування даного обладнання, що дасть змогу зменшити вплив ЕМІ. В якості матеріалу для екрану вибираємо сталь, для якої перехідне затухання визначається за формулою:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f} \text{ [дБ]}; \quad (4.12)$$

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}} \text{ [см]} .$$

де  $t$  – товщина стінки екрана, см;

$f=15000$  Гц.

Отже, визначаємо з даної формули товщину стінки екрана для кожного елемента СЕП:

$$t_1 = \frac{40 - 22,7}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,03 \text{ (см) ,}$$

$$t_2 = \frac{40 - 15,3}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,04 \text{ (см) ,}$$

$$t_3 = \frac{40 + 12,3}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,08 \text{ (см) .}$$

Таким чином при екрануванні блоку живлення з використанням екрану товщиною 0,03 см зі сталі, блоку управління - 0,04 см та силових елементів - 0,08 см, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також, в підрозділі з безпеки НС у результаті проведеного аналізу визначено, що система електропостачання може потрапити під дію іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу. Були проаналізовані і визначені елементи та вузли, які не стійкі до дії цих факторів. Приведено аналіз і дана оцінка стійкості роботи СЕП при дії іонізуючих випромінювань при цьому виявлено, що система працює стійко, оскільки  $D_m < D_{гр}$  в заданих умовах. Оцінка стійкості роботи системи при дії електромагнітного імпульсу показала, що вона буде працювати стійко при застосуванні захисних сталевих екранів товщиною 0,03, 0,04 см та 0,08 см.

### Висновки

Визначено область роботоздатності електричної мережі в умовах дії сейсмічних коливань та електромагнітного імпульсу.

Проаналізовані впливи факторів сейсмічних коливань та ЕМП та можливі наслідки їх дій на електричну мережу, розроблені методи по підвищенню стійкості роботи ЕМ в умовах НС.

## ВИСНОВКИ

В магістерській дипломній роботі здійснені дослідження заходів з енергозбереження методами енергоаудиторського аналізу.

В результаті перевірки ефективності встановлення засобів КРП на шинах 10 кВ РП підстанцій з використанням аналітичного методу аналізу встановлено, що у випадку реалізації даного заходу економія коштів складатиме орієнтовно 150000 грн в рік. Термін окупності заходу – 2 роки.

Здійснено техніко-економічне обґрунтування заміни люмінесцентних лам аудиторій будівлі на світлодіодні. Встановлено, що у випадку комплексної заміни економія коштів складе понад 200000 грн/рік, а простий термін окупності не перевищує 1,2 роки.

З використанням статистичних методів енергоаудиторського аналізу проведено аналіз зміни норм використання теплової енергії протягом останніх трьох років на опалення одного градусо-дня. Дослідження показали, що в 2017 році організаційні заходи по регулюванню тепловикористання були вдвічі ефективніші ніж в 2016 році. Зниження споживання теплової енергії викликані змінами в організації регулювання в теплових вузлах. Отримані статистичні залежності вказують на ефективність оптимізації регулювання подачі теплової енергії і недопущення значного переохолодження будівель, підвищення рівня організаційних заходів, регулярного контролю та аналізу енергоспоживання.

Побудовано регресійні залежності споживання теплової енергії будівлею від кількості градусоднів протягом місяців. Найкраща залежність може вважатись нормативною.

Виконані дослідження системи теплоенергопостачання(СТЕП) будівлі з традиційними та відновлювальними джерелами енергії. Зроблений системний аналіз 9 варіантів комбінацій джерел енергії. Призначені екологічні, технічні та вартісні критерії оцінки варіантів. За однокритеріальною (вартісною) оцінкою найбільш ефективним є варіант з твердопаливним котлом. За багатокритеріальною оцінкою найкращим є варіант “автономний газовий котел

та відбір електроенергії з електричної мережі. ”. Він має відносно великі затрати на паливо, проте в нього середні капіталовкладення та добрі екологічні показники. До того ж він найпростіший в реалізації.

Розглянуті заходи енергозбереження в буфеті що знаходиться в приміщенні будівлі розрахунках використані наступні експериментально визначені авторкою роботи дані. Витрата газу для нагрівання 1 л води від 15 градусів до температури кипіння на газовій плиті складає 0,026 м<sup>3</sup>, ККД використання теплоти згорання газу 41%, вартість витраченого газу 0,213 грн. Витрата електроенергії нагрівання 1 л води від 15 градусів до температури кипіння в електрокараніку складає 0,12 кВт·год, ККД використання електроенергії 84%, вартість витраченої електроенергії 0,288 грн.

Заміна електричної плити для нагрівання води на електричні чайники щорічно заощадить 10620 грн, а термін окупності складає 0.2 роки.

Заміна електронагрівання води газовим нагрівом знижує затрати на енергію підігріву води на 59 %.

При нагрівання води в ТНУ до догрівання її в електронагрівачі оптимальна потужність ТНУ складає 6 кВт, а оптимальна температура нагрівання води в ТНУ дорівнює 40 градусів.

Важливим заходом для енергозбереження зазначено використання сучасних термоголовок для радіаторів, які дозволяють здійснювати економію теплової енергії в кожній аудиторії в залежності від факторів, які можуть бути запрограмовані.

Запропоновано підвищити енергоефективність системи освітлення шляхом встановлення сенсорів руху.

Визначено область працездатності електричної мережі в умовах дії сейсмічних коливань та електромагнітного імпульсу.

Проаналізовані впливи факторів сейсмічних коливань та ЕМІ та можливі наслідки їх дій на електричну мережу, розроблені методи по підвищенню стійкості роботи ЕМ в умовах НС.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення: Навчальний посібник / [Півняк Г.Г., Випанасенко С.І., Хованська О.І. та ін.]. – Д.: Державний вищий навчальний заклад (НГУ), 2011. – 214 с.
2. Прокопенко В. В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями : навчальний посібник / Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В. – К. : Освіта України, 2009. – 438 с.
3. Бабенко О.В. Енергетичний аудит. Курсове проектування: навчальний посібник / О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 71 с
4. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0619-97> (дата звернення 12.12.2012). — Назва з екрана.
5. Замулко А.І. Веремійчук Ю.А. Дослідження графіків електричних навантажень груп споживачів електричної енергії [Текст] / А.І. Замулко, Веремійчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 2. – С. 82–85. (НМБ РІНЦ)
6. Веремійчук Ю.А., Панасюк М.П., Замулко А.І.. Аналіз ефективності розподілу споживачів електричної енергії на роздрібному ринку України // Науково-практичний журнал «Електромеханічні і енергозберігаючі системи», Кременчук. Випуск 2/2012 (18). С. 72-76.
7. Класифікація котлів. Котли, види котлів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://www.klimatvdomi.com/heat/st\\_klassifikacija-kotlov-obogrjeva-po-tipu-ispolzujemogo-topliva\\_ua.html/](http://www.klimatvdomi.com/heat/st_klassifikacija-kotlov-obogrjeva-po-tipu-ispolzujemogo-topliva_ua.html/) (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
8. Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлива. [Електронний ресурс]. – Режим доступу [https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitса-теplotvornosti/](https://a-invest.com.ua/aktualno/tablitسا-теplotvornosti/) (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.

9. Прейскуранти на природний газ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/486E117B34CF13EEC2257VCE0041B995?OpenDocument/> (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
10. Системи інфрачервоного обігріву. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://raduga.if.ua/> (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
11. Ратушняк Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навчальний посібник / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Анохіна К. В. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
12. Твердопаливні котли. [Електронний ресурс]. – Режим доступу [https://ibud.ua/ua/c380-tverdoplivnye-kotly/f17790=100-100\\_close/](https://ibud.ua/ua/c380-tverdoplivnye-kotly/f17790=100-100_close/) (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
13. Вартість монтажу (встановлення) твердопаливних котлів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://tt-kotel.com.ua/vartist-montazhu-vstanovlennya-tverdopalivnih-kotliv.htm/> (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
14. Електро котли. [Електронний ресурс]. – Режим доступу [https://aquavin.com.ua/catalog/elektro\\_kotli\\_1/filter/price-інтернет-from-19313.08-to-22500/apply/](https://aquavin.com.ua/catalog/elektro_kotli_1/filter/price-інтернет-from-19313.08-to-22500/apply/) (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
15. Котли газові. [Електронний ресурс]. – Режим доступу [https://vinnica.prom.ua/Kotly-gazovye-1?price\\_local\\_\\_gte=85000/](https://vinnica.prom.ua/Kotly-gazovye-1?price_local__gte=85000/) (дата звернення 11.01.2018). — Назва з екрана.
16. Тепловые насосы. [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://220volt.com.ua/teplovie\\_nasosi/2861=50578,38688//](http://220volt.com.ua/teplovie_nasosi/2861=50578,38688//) (дата звернення 12.01.2018). — Назва з екрана.
17. Солнечные коллекторы на водяной основе Paradigma. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://ekonomteplo.com.ua/ru/sonyachni-kolektory/paradigma///> (дата звернення 12.01.2018). — Назва з екрана.
18. Кобилянський О.В. Методичні вказівки до виконання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей / О.В. Кобилянський, О.П. Терещенко. – Вінниця: ВНТУ, 2004. –

45 с.

19. Тарнавський М.В. Оптимізація режимів енергоспоживання насосних агрегатів міської системи водопостачання господарства / Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК», 28-30 листопада 2017 року: - Вінниця: Вид-во ВНАУ, 2017. – С. 227-230.

20. Кини Р. Размещение энергетических объектов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 320с.

21. Сафіуліна К. Р. Енергозбереження в університетських містечках / К. Р. Сафіуліна, А. Г. Колієнко, Р. Ю. Тормосов. — К. : ТОВ «Поліграф ПЛЮС», 2010. — 328 с.

22. Мазуренко А. С. Розробка пілотного проекту комбінованої системи теплопостачання навчального будівлі ОНПУ з використанням відновлювальних джерел енергії та теплового акумулювання / А. С. Мазуренко, О. А. Климчук / Вісник КНУДТ, 2013. — № 6(74). — С. 65–67.



## Додатки