Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Плєшков П.Г.
“___“ _____2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

Енергоефективне використання електричної системи опалення приміщень на базі теплоакумуляторів

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-21М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
_____ Денис ЛИХЕНКО.
«____»_____2022 р.

Керівник роботи
канд. техн. наук, доцент
_____Телюта Р.В.
«_____»_____2022 р.

Рецензент _____
_____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва та транспорту*
Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Галузь знань *14 «Електрична інженерія»*
Спеціальність *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
Освітньо-професійна програма *Енергетичний менеджмент*

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
_____*Плєшков П.Г.*
"___" _____20___року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Лихенка Дениса Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Енергоефективне використання електричної системи опалення приміщень на базі теплоакумуляторів*
Energy-effieient use of the electric space heating system based on heat accumulators

2. керівник роботи (проекту) *Телюта Руслан Васильович, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту *07.12.2022 р*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) *Метою роботи є дослідження електротеплофізичних властивостей матеріалів використаних в електротеплоакумуляторі нагрівача та доцільність впровадження електротеплоакумуляційного нагріву і ефективність використання його в системі опалення житлових будівель. Завдання роботи: 1. Огляд технологій та устаткування для електротеплообігріву приміщень; 2. Аналіз річних та добових графіків навантаження нічного провалу об'єднаної електроенергетичної системи; 3. Дослідження використання електротеплоакумуляційного нагріву; 4. Математична модель теплообмінних процесів, що протікають в електротеплоакумуляторі; 5. Розробка стартап-проекту з впровадження системи опалення з електротеплоакумуляційним нагрівом; 6. Розробка заходів з електробезпеки при експлуатації електротеплоакумуляційних нагрівачів системи опалення. 7. Техніко-економічне порівняння варіантів систем електроопалення.*

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	*к.т.н., доц. Савеленко І.В.*		
Економічна частина	*к.е.н., доц. Журило І.В.*		

6. Дата видачі завдання 05. 09. 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ. Огляд стану та використання обладнання і технологій для електроопалення житлових приміщень*	*12.09.22*	
2	*Аналіз регулювання графіків навантаження в об'єднаній енергосистемі України*	*19.09.22*	
3	*Дослідження використання електротеплоакумуляційного нагріву*	*3.10.22*	
4	*Розроблення стартап-проекту з впровадження системи опалення з електротеплоакумуляційного нагріву*	*24.10.22*	
5	*Охорона праці*	*07.11.22*	
6	*Економічна частина*	*14.11.22*	
7	*Висновки*	*21.11.22*	
8	*Перелік посилань*	*28.11.22*	
9	*Оформлення розрахунково-пояснювальної записки*	*05.12.22*	
10	*Оформлення презентації магістерської роботи та подання магістерської роботи до захисту*	*07.12.22*	

Дата видачі завдання
«____» _____2022 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання
«____» _____2022 р.

Підпис здобувача _____

Анотація

Лихенко Д. С. Енергоефективне використання електричної системи опалення приміщень на базі теплоакумуляторів.

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ОПП «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет. – м. Кропивницький, 2022 р.

Метою роботи є дослідження електротеплофізичних властивостей матеріалів використаних в електротеплоакумуляторі нагрівача та доцільність впровадження електротеплоакумуляційного нагріву і ефективність використання його в системі опалення житлових будівель.

Аналіз графіків навантаження енергетичної системи України показує, що існують великі провали навантаження вночі, що вимагає їх заповнення з погляду економії енергоресурсів. Одним з таких способів заповнення графіка є застосування електричної енергії для електроопалення, у тому числі шляхом її електротеплоакумуляції енергії.

Був проведений розрахунок і вибір системи опалення на основі електротеплоакумуляційного обігріву, впровадження якого дозволяє скоротити терміни проектування і підбирання обладнання, доставки, монтажу, підключення до електричної та теплової мереж будівлі, досягнути найкращих техніко-економічних показників в процесі експлуатації

Дану систему електроопалення пропоную використати в якості споживача-регуляторів ДНГ нічної зони. В умовах дії тарифів на електроенергію, диференційованих за часом доби, для підключення твердотільних ЕТА обігрівачів , працюючих в зоні дії нічного тарифу, в більшості випадків не потребує збільшувати під’єднану електричну потужність, а собівартості вироблених ними тепла і гарячої води будуть низькими.

Ключові слова: електроопалення, електротеплоакумуляція, теплоакумуляційний матеріал, об’єднана енергетична система України, система опалення.

The summary

Lyhenko D. S. Energy-efficient use of an electric space heating system based on heat accumulators.

Specialty 141 - " Electric power, electrical engineering and electromechanics ". - OPP "Energy Management". - Central Ukrainian National Technical University. – Kropyvnytskyi, 2022.

The purpose of the work is to study the electrothermal physical properties of the materials used in the electric heat storage heater and the feasibility of introducing electric heat storage heating and the effectiveness of its use in the heating system of residential buildings.

The analysis of load schedules of the energy system of Ukraine shows that there are large load drops at night, which requires their filling from the point of view of saving energy resources. One of these ways of filling the schedule is the use of electrical energy for electric heating, including through its electrothermal energy storage.

The calculation and selection of a heating system based on electric thermal storage heating was carried out, the implementation of which allows to shorten the terms of design and selection of equipment, delivery, installation, connection to the electrical and thermal networks of the building, to achieve the best technical and economic indicators in the process of operation

I propose to use this electric heating system as a consumer-regulator of DNG in the night zone. Under the conditions of electricity tariffs, differentiated by time of day, to connect solid-state ETA heaters operating in the area of the night tariff, in most cases there is no need to increase the connected electric power, and the cost of the heat and hot water produced by them will be low.

Key words: electric heating, electric heat storage, heat storage material, unified energy system of Ukraine, heating system.

Перелік умовних скорочень

ЕТА – електротеплоакумуляція

ТАМ - теплоакумуляційний матеріал

ТА – теплоакумулятор

АЕС – атомна електростанція

АПК – агропромисловий комплекс

АСУ – автоматизована система управління

ВВП – внутрішній валовий продукт

ВЕЗ – вільна економічна зона

ВЕС – вітроелектростанція

ГАЕС – гідроакумулюючі електростанції

ГЕС – гідроелектростанції

ДГН - добовий графік навантажень

ДП – державне підприємство

ЕТЗ – електротеплозабезпечення

ЖКК – житлово-комунальний комплекс

КТП – комплектна трансформаторна підстанція

ЛЕП – лінія електропередачі

НКРЕКП - національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг

ОЕС – об'єднана електроенергетична система

СДТ – системи децентралізованого теплопостачання

СЕС – сонячна електростанція

СЦТ – система централізованого теплопостачання

ТВЕЛ - тепловиділяючий елемент

ТЕН – трубчатий електронагрівач

ТЕЦ - теплоелектроцентраль

ТП – трансформаторна підстанція

SWOT – аналіз (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troublez) та можливостей (Opportunities)

Зміст

Анотація……..... 4
Перелік умовних скорочень ……..……..... 6
Зміст…….…..... 7
Вступ ……..……..... 9
Розділ 1. Розвиток технологічного обладнання для електроопалення житлових приміщень..……..... 12
1.1 Розвиток електроопалення в нашій країні……..... 12
1.2 Розповсюдження технологій електротеплопостачання..... 12
1.3 Здійснення теплопостачання на базі електрообігріву.....…… 13
1.4 Використання теплопостачання на базі прямого електрообігріву.....…… 16
1.5 Можливості використання акумуляційного електроопалення..... 16
1.6 Загальна класифікація видів та засобів електроопалення..…… 17
1.7 Висновки 19
Розділ 2. Огляд загального стану ОЕС України та можливість регулювання графіків навантаження..... 20
2.1. Генерація та споживання електричної енергії ОЕС України …… 20
2.2. Обсяги споживання та виробництва електроенергії.....…… 22
2.3. Добові режими навантаження ОЕС України…….....…….. 23
2.4 Питання з покриттям графіку електричних навантажень в ОЕС…..... 26
2.5 Способи ущільнення добового графіка навантажень ОЕС України 27
2.6. Технічні засоби ущільнення ДГН за допомогою акумуляційного опалення.....…….. 30
2.7 Нічний провал ДГН ОЕС як базовий ресурс електроопалення..... 31
2.8 Висновки ……..... 32
Розділ 3. Дослідження використання електротеплоакумуляційного нагріву... 33
3.1 Акумулювання теплової енергії..... 33
3.2 Акумулювання теплоти з використанням твердих матеріалів …… 35
3.3 Оцінка ефективності акумулювання теплоти твердими теплоакумулюючими елементами електротеплового акумулятора..... 39

3.4 Теплове акумулювання як спосіб підвищення енергетичної ефективності систем теплопостачання..... 42
3.5 Математична модель теплообмінних процесів, що протікають в електротеплоакумуляторі 45
3.6 Розрахунок і вибір системи опалення приміщення 50
3.7 Висновки 52
Розділ 4. Розробка стартап-проекту з впровадження системи опалення з електротеплоакумуляційним нагрівом 53
4.1 Опис ідеї проекту..... 53
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту..... 53
4.3 Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту 55
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту 60
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту..... 62
4.6 Висновки 65
Загальні висновки 66
Перелік посилань 68
Додаток А..... 72
Охорона праці 72
А1.Охорона праці при монтажі та експлуатації електрообігрівача..... 72
А2 Підключення електрокотла до електромережі..... 74
А3 Розрахунок заземлення електрокотла..... 75
Додаток Б..... 79
Економічна частина..... 79
Б1 Техніко-економічне порівняння варіантів систем електроопалення житлових будинків 79

ВСТУП

Актуальність теми. Історія розвитку вітчизняного електроопалення налічує майже 50 років, адже і досьогодні природний газ залишається найбільшим за обсягом використання видом ПЕР, вартісні показники якого в Україні, на відміну від інших основних складових споживання ПЕР (вугілля, рідкого та ядерного палива), на внутрішньому ринку значно поступалися світовим, належної уваги електрообігріву не приділялося. Лише 2005 та 2014 роках коли стався різкий стрибок внутрішніх цін на газ, роботи з цього напрямку енергозабезпечення стали більш інтенсивними. Саме у цей час було поставлено проблемні завдання щодо підвищення рівня енергонезалежності країни. У ході системних робіт з удосконалення енерговиробництва та енергоспоживання, відбулася своєрідна інвентаризація засобів енерготеплопостачання, і особливу увагу було приділено електрообігріву. Оскільки вже перші розрахунки та узагальнення практики використання енергоефективних видів електрообігріву продемонстрували доцільність розвитку цієї технології у сучасних соціально-економічних умовах.

Нове ставлення до енергобезпеки України виражається у тому, що фокус зусиль в енергозбереженні переміщається з промисловості, теплової енергетики та транспорту до комунальної сфери, головним чином до житлового сектора, де на цілі обігріву неефективно витрачається приблизно половина усіх ПЕР, що споживаються в країні.

Електрообігрів в Україні, у тому числі електроопалення, є одним із відомих видів побутового енергозабезпечення. Сучасна практика використання електроопалення в більшості випадків зводиться до використання нагрівачів в якості традиційного доводчика температури в перехідних умовах, коли звичайні системи опалення ще (або вже) не працюють, наприклад, перед початком (або після закінчення) опалювального періоду. На влаштування електроопалення та подальше розповсюдження не існує жодних заборон або суттєвих обмежень нетехнічного характеру зі сторони чинного законодавства. Зокрема, для заохочення перенесення споживання електроенергії на нічний час (години провалу графіка навантажень), у тому числі сприяння розвитку акумуляційного

обігріву, розроблені спеціальні багатозонні тарифи, тобто тарифи диференційовані за періодами часу (ТДПЧ). Розпорядженням уряду кардинальним чином поліпшені умови і процедура приєднання електроустановок акумуляційного електроопалення електромереж. Розвиток опалення в умовах стабільності економіки, як і вихід із кризової ситуації в енергетиці взагалі та у теплопостачанні зокрема, неможливий без створення новітніх енергозберігаючих технологій. Однією з таких прогресивній технологій є технологія електротеплоакумуляційного обігріву. Відмінною її рисою є оптимізація потоків енергії на всьому шляху її трансформації: від першого етапу - видобутку енергоносіїв та одержання первинної енергії, що міститься в цих енергоносіях, до останнього, пов'язаного з використанням енергії у кінцевого споживача і компенсацією екологічних впливів. Перетворення енергії, її передача, розподіл та споживання залучає до процесу багато галузей економіки, потребує злагодженої дії різних фінансових, господарських, правових, у тому числі міжнародних, нормативно-технічних механізмів і т.п. Очевидно, що швидка та якісна розробка та впровадження сучасної технології електротеплоакумуляційного обігріву неможлива без вивчення та встановлення відповідних концептуальних засад. Тому вивчення їх основних аспектів: моделі оптового ринку електроенергії, інституційних та організаційно-методичних засад застосування в Україні електричної енергії для обігріву, особливостей електроенергобалансу, електротеплоакумуляція, електротеплозабезпечення, добових та сезонних режимів навантаження ОЕС України тощо - є актуальним завданням.

Мета і задачі дослідження. Дослідити електротеплофізичні властивості матеріалів використаних в електротеплоакумуляторі нагрівача та доцільність впровадження електротеплоакумуляційного нагріву і ефективність використання його в системі опалення житлових будівель.

Використання для електроопалення нічних провалів навантаження енергосистеми шляхом впровадження опалювальних систем на базі розроблених електротеплоакумуляційних перетворювачів електричної енергії в теплову. Досягнення поставленої мети реалізується через формулювання та розв'язання

наступних задач:

1. Огляд технологій та устаткування для електротеплообігріву приміщень;
2. Аналіз річних та добових графіків навантаження нічного провалу об’єднаної електроенергетичної системи;
3. Дослідження використання електротеплоакумуляційного нагріву;
4. Математична модель теплообмінних процесів, що протікають в електротеплоакумуляторі;
5. Розробка стартап-проекту з впровадження системи опалення з електротеплоакумуляційним нагрівом;
6. Розробка заходів з електробезпеки при експлуатації електротеплоакумуляційних нагрівачів системи опалення.
7. Техніко-економічне порівняння варіантів систем електроопалення.

Об’єкт дослідження – теплоакумулюючі матеріали в електротеплоакумуляційному нагрівачі.

Предмет дослідження – електротеплофізичні властивості матеріалів використаних в електротеплоакумуляторі нагрівача.

Методи досліджень. В процесі виконання роботи використовувались методи розрахунку електричних кіл з використанням прикладних програм Microsoft Excel, основи положення теорії електротеплоакумуляційного нагріву, використанням комп'ютерних програм Matlab та Microsoft Visio рисунки.

Наукова цінність роботи полягає в подальшому розвитку використання електротеплоакумуляційного нагріву для опалення приміщень та у використанні нічного провалу ДГН ОЕС України як базового ресурс електротеплоопалення.

Практична цінність роботи полягає у подальшому розвитку використання електротеплоакумуляційного електроопалення для обігріву приміщень.

Структура роботи. Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи складає 90 сторінок. Пояснювальна записка містить 20 рисунків та 24 таблиць. Список використаних джерел містить 30 джерела та викладений на 3 сторінках.

Розділ 1. Розвиток технологічного обладнання для електроопалення житлових приміщень.

1.1 Розвиток електроопалення в нашій країні

Історичні віхи розвитку електроопалення в нашій державі налічує близько 45 років, хоча природний газ залишається водночас найбільшим за обсягом використання видом опалювального ресурсу. Поки вартість газу, вугілля, дров, рідкого та ядерного палива були на внутрішньому ринку значно значно меншими за світові, то належної уваги електроопаленю не приділялося. В певних роках, а саме 2005, 2008 та 2014 відбувалися різке стрибкоподібне зростання ціни на газ, що спонукало до вирішення завдань щодо підвищення рівня енергонезалежності, через розвиток та впровадження альтернативних способів опалення, зокрема електрообігріву.

Електрообігрів знаходиться на межі тепло- та електроенергетики, що потребує залучення спеціалістів різноманітного профілю з подальшим дослідженням теплофізичних основ технології електроопалення. За замовленням Міністерстві палива та енергетики в Україні проводилися і проводяться дослідження енергоефективності систем енергопостачання та створення енергозбурігаючої технології за рахунок електротеплоакумуляційного (ЕТА) обігріву [1-3].

1.2 Розповсюдження технологій електротеплопостачання

Технології теплопостачання та використання, зокрема на обігрів та опалення, забезпечують основи стратегічної безпеки країни, різноманітних галузей господарства та потреби населення. Їхнє використання потребує дуже великих обсягів споживання енергетичних ресурсів, що спонукає до подальших розробок сучасних технологій обігріву та підвищенню їх рівня енергоощадності.

Централізоване теплопостачання розповсюджене у містах середовищі має загалом системи теплопостачання великої потужності, що в свою чергу потребує великих капітальних і експлуатаційних витрат, має велику матеріалоємність та

площу використання, що у цілому є не енергоекономним. Для підтримання необхідних санітарних температурних умов найчастіше використовуються: центральний водяний, повітряний та водяноповітряний види обігріву.

На даний момент впровадження електроопалення напряму залежить від техніко-економічної доцільності. Зараз уже існують усі передумови, як міського так сільського населення, для поширення електрообігріву. Для цього необхідно підвищити енергоефективність електрообігріву за рахунок розробки та впровадження новітніх електротехнологій. Данні технології повинні бути максимально регульованими та використовувати нічні провали навантажень електромережі, забезпечувати економію матеріальних та трудових ресурсів, здійснювати облік та контроль за витратами електроенергії, бути автоматизованими та компютеризованими.

Соціальна задача розроблених електротехнологій необхідна для підвищення рівня електрифікації, за рахунок впровадження малогабаритного, невисокої вартості та надійного високоякісного технологічного обладнання. Усі ці задачі успішно вирішуються при застосуванні електротехнологійтехнологій теплоакумуляційного обігріву [3].

1.3 Здійснення теплопостачання на базі електрообігріву

Теоретичні, практичні та технічні питання здійснення електроопалення житла у першу чергу були направлені для забезпечення теплом жителів сільської місцевості. Для задоволення потреб з тепловій енергії (опалення) жителів, що територіально розсіяні на значній території, змушені використовувати невеликі котельні та вогневі печі, що потребує доставки палива, підвищених трудових та амортизаційних витрат. В той же час використання електротеплообігрівачів ЕТО характеризується значною енергоефективністю, компактністю обладнання; меншими капітальними і експлуатаційними витратами; можливістю точніше регулювати показники мікроклімату приміщення. Розвиток та впровадження електротеплоакумуляційного ЕТА обігріву дозволяє зменшити витрати на використання маневрових енергоблоків, що дозволить підвищити встановлені

коефіцієнти використання електрогенеруючих потужностей та в значній мірі дозволить ущільнити графік навантаження ОЕС [3].

Приведені обставини спонукають до подальшого методологічного розвитку систем електроакумуляційного децентралізованого теплопостачання на базі електроопалення. Питаннями електроопалення були ретельно розглянуті іще в кінці минулого століття у публікаціях В.Г. Стафійчука та, С.Я. Меженного [4, 6], хоча практична їх реалізація почала з'являтися в Україні вже на початку 21 століття. Це було насамперед пов'язано з економічними труднощами у країні із перехідною економікою, а також пропускною здатністю електромереж, відсутністю вільних генеруючих потужностей та електроустаткуванням для реконструкції мереж.

До переваг електроенергії як енергоносій можна віднести: простота використання та зручність регулювання, легкість у транспортуванні та доступність до споживача, екологічність, що виводить електричну енергію у якості енергоносія на перше місце.

Розвиток електропостачання сільськогосподарських споживачів з урахуванням збільшення електроопалення будинків повинен бути спрямований на збільшення прибутків енергосистеми та зниження ціни за передачу електроенергії. Це можливо за умов реалізації енергозберігаючої політики електротеплозабезпечення будинків, що дасть змогу знизити навантаження та витрати на виробництво і передачу електроенергії. Також оцінити електронавантаження існуючих та проектуємих для електротеплозабезпечення сільських будинків. Зробити порівняння різних варіантів ЕТА обігрівачів, що встановлені в кожному приміщенні і систем централізованого водяного опалення.

Розрахункові електричні навантаження з врахуванням питомих теплових навантажень, будуть значною мірою залежати від теплоізоляції будинків. Тому поліпшення теплоізолюючих властивостей будинків дасть змогу значно зменшити електричні навантаження на опалювальне приміщення.

Установка у кожній кімнаті ЕТА нагрівачів дасть можливість здійснювати

регулювання температури покімнатно заощаджуючи при цьому електроенергію. Крім того ЕТА системи будуть мати значно меншу металоємність в порівняні з системами централізованими водяного опалення.

Враховуючи постійну зміну цін на традиційні види палива та сучасну структуру енергопостачання країни, то також зростають і вимоги до споживчих властивостей електротехнічного устаткування.

Досвід впровадження та експлуатації ЕТА систем показав, що для підвищення техніко-економічних показників ЕТА систем опалення є використання приладів, що накопичують (акумулюють) тепло в нічні періоди коли в енергосистемі країни існує спад електричних навантажень. Використання ЕТА систем опалення дозволить заощадити рідке паливо, значно підвищити ефективність роботи енергосистем, зменшити використання трудових ресурсів.

Найголовнішою вимогою надійної роботи енергосистеми країни є можливість гнучкого та плавного регулювання режиму виробництва електроенергії, що відповідає графіку її споживання. Досить актуальною проблемою для енергетиків є добове регулювання споживання електроенергії, враховуючи, що резерви його регулювання на сьогоднішній день практично вичерпані.

Електричні мережі напругою 110 кВ і вище, мають графік подібний до графіка навантаження енергосистем, а їх пропускна здатність має значні резерви у нічні години, що дає можливість існуючої незадіяної електроенергії на електроопалення житлових будинків. Для використання нічної незадіяної електроенергії для опалення необхідно [4]: розробка й впровадження виробництва індивідуального електротермічого устаткування; створення економічних стимулів для широкого застосування електроенергії на опалення; проектування та створення новітніх дешевих та надійних матеріалів; розробка та впровадження енергозберігаючого устаткування.

На сьогодні ми вже вирішили питання з серійного випуску теплоізоляційних матеріалів, приладів контролю й автоматики, багатотарифних лічильників для забезпечення індивідуального домогосподарства автономної системи керування.

1.4 Використання теплопостачання на базі прямого електрообігріву

Є випадки коли електричне опалення є одним із доступних видів опалення. Це стосується насамперед віддалених районів, де централізована система опалення практично відсутня і індивідуальне теплопостачання чи не єдина можливість для приготування їжі, отримати гаряче водопостачання та опалення, що призводить до значного зниження вартості житла.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) ТЕЦ складає близько 45 %, втрати що виникають при транспортуванні тепла становлять 35-40 %та інші 5 – 10 %. До споживача доходить близько 10-15 %.

В разі використання ТЕЦ для виробництва електроенергії, виникає можливість значного підвищення коефіцієнта використання палива до 60 % [5].

Використання електроенергії як основного енергоносія при передачі споживачу має втрати, але швидко перетворюється в тепло та безпечне з погляду екології. Використання електроенергії є досить вдалим вирішенням проблем з промисловою, комунальною та житловою теплоенергетикою. Тим більше, що на ринку на даним момент вистачає технічних засобів для цього, а саме різноманітні електричні котли та водонагрівачі (ТЕНові, електродні, індукційні), електричні та масляні конвектори, інфрачервоні обігрівачі.

Тобто можна вважати, що електроенергія є економічно обґрунтованим джерелом тепла значному здійснені економії умовного палива.

1.5. Можливості використання акумуляційного електроопалення

Масштабне використання електрообігріву повинно бути зумовлено енергоефективністю та техніко-економічною доцільністю. До переваг ЕТА опалення можна віднести зменшенням показників витрат в процесі запуску та зупинки маневрових енергоблоків, можливість ущільненням графіка навантаження енергосистеми та зростання коефіцієнтів використання генеруючих енергетичних потужностей. Розроблені програми енергетичного менеджменту у житловому секторі країни, рекомендують при розробці заходів з

енергозбереження широко впроваджувати технології з ЕТА обігріву приміщень. Значна кількість електроенергії, близько 50 % від споживання потребує біль раціонального її використання.

Практично всі технології ЕТА опалення реалізовані на основі принципу акумуляції теплоти [3], одним із найбільш поширеним є засоби накопичення теплоносія в акумуляційних баках, в твердотільному теплостійкому матеріалі що володіє високими характеристиками теплоємності та теплопровідності.

Кімнатні меблі, різноманітне обладнання, стеля, підлога, стіни та саме повітря також мають теплоакумуляційні властивості. Тому використання будь-якого електронагрівача можна вважати теплоакумуляційним до певної міри, оскільки із припиненням використання електроенергії в приміщені, воно не стане відразу холодним, а за рахунок теплової інерції на протязі певного періоду буде знаходитися в інтервалі комфортних значень [3].

За своїми теплоакумуляційними властивостями, такі прості матеріали як вода, бетон, магнезит, шамот, кирпич, являються хорошими теплонакопичувачами і одночасно є відносно дешевими. В електротеплоакумулюючих пристроях, за рахунок їх вмикання, в інтервалі дії пільгового тарифу (23:00-7:00), тепло накопичується в спеціальних теплоізольованих акумуляційних ємностях, з якої потім теплоносій (вода, тепле повітря) на протязі доби (вже не пільгового тарифу з 7:00 по 23:00) надходить у необхідній кількості в житлове чи виробниче приміщення та забезпечує санітаро-нормативну температуру повітря в межах 18... 22 °С.

1.6 Загальна класифікація видів та засобів електроопалення.

Проводячи аналіз джерел з літератури, статей можна скласти загальну класифікацію видів та засобів електроопалення для опалювання приміщень (рис. 1).

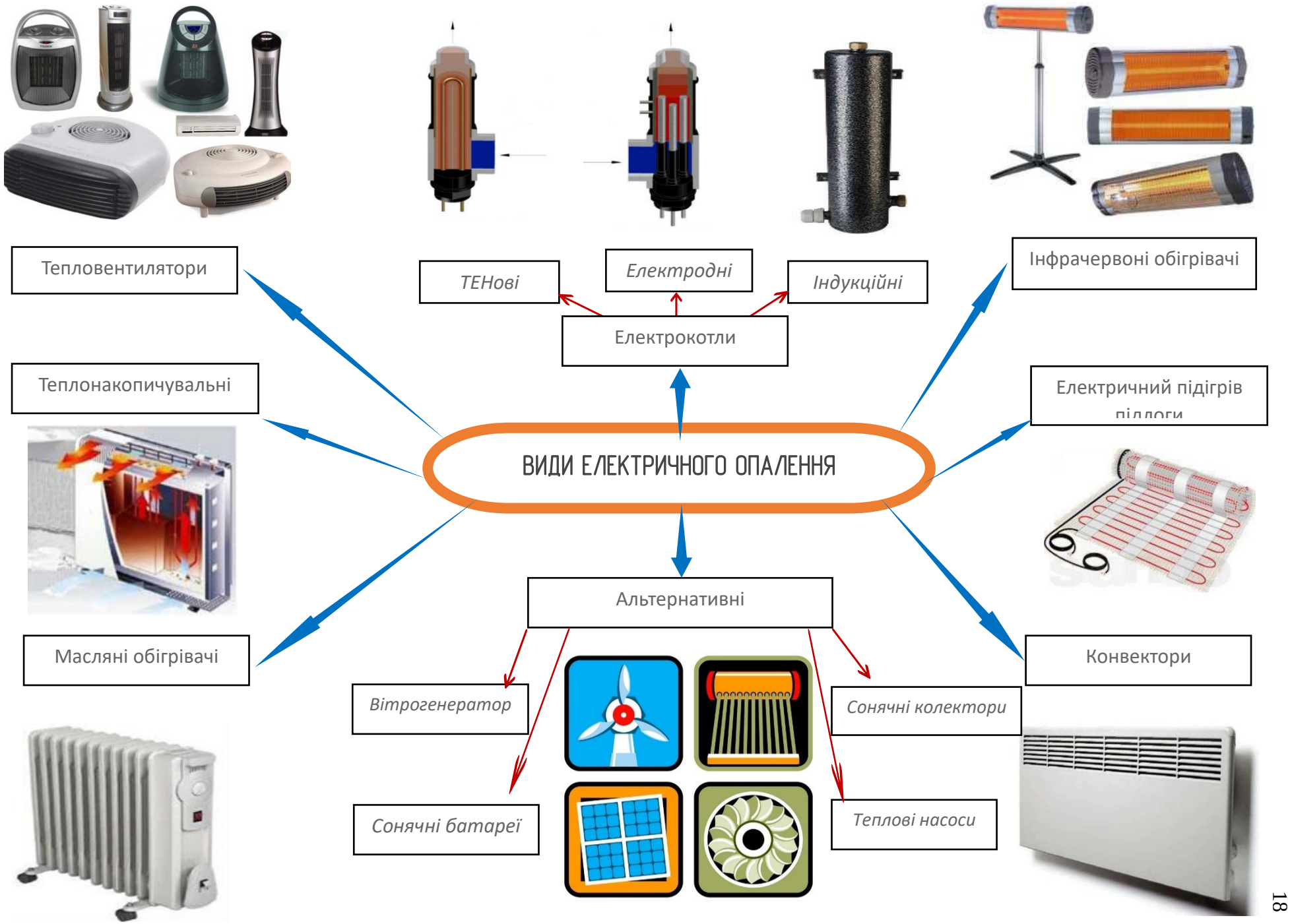


Рисунок 1 - Загальна класифікація видів та засобів електротеплоопалення

1.7 Висновки

1. Використання електроенергії для теплопостачання та опалення, на даний момент можна вважати, що перебуває на етапі швидкого розвитку. Сьогодні на ринку представлений широкий спектр технічних засобів електроопалення, кожен із яких характеризується комплексом технічних, економічних показників та споживчих характеристик.

2. Набула подальшого розвитку необхідність розробки науково-технічних засад технології електрообігріву та подальше створення теплотехнічних основ електрообігріву як електротехнології енергозберігаючого виду з відповідними схемотехнічними рішеннями.

3. Електроопалення не є найбільш витратним видом опалення, а з врахуванням високих споживчих властивостей може бути рекомендований для масового впровадження і використання.

4. Одним із основних напрямків застосування електричної енергії для теплопостачання в Україні можна вважати електротеплоакумуляційний електрообігрів. Розвиток електротеплоакумуляційного обігріву дозволяє зменшити витрати на запуски та зупинки маневрових енергоблоків, тобто підвищити коефіцієнти використання електрогенеруючих потужностей та ущільнити графік навантаження ОЕС.

5. Електрообігрів є чи не єдиним видом опалення, який дозволить організувати системне впровадження індивідуального поквартирного опалення та теплозабезпечення.

Розділ 2. Огляд загального стану ОЕС України та можливість регулювання графіків навантаження

2.1 Генерація та споживання електричної енергії ОЕС України.

Основою електроенергетики України, не сьогоднішній день, є об'єднана електроенергетична система України (ОЕС). За допомогою неї здійснюється централізоване енергопостачання різноманітних споживачів як в середині країни та і за її межами, взаємодія з енергосистемами сусідніх європейських країн, забезпечуючи з ними експорт та імпорт електроенергії.

Електроенергетична система України являє собою сукупність електрообладнання енергетичної системи в єдине ціле, що об'єднані загальним режимом виробників і споживачів електричної енергії.

В ОЕС України діє єдина централізована диспетчерська система (ЦДС) оперативно-технологічного управління виробництвом, передачею та розподіленням електричної енергії. ЦДС об'єднує роботу всіх рівнів оперативно-диспетчерського управління, які діють в електроенергетичній галузі ОЕС України. Функції диспетчерського управління об'єднаною енергетичною системою покладено на державне підприємство НЕК "Укренерго". Централізоване диспетчерське управління поширюється на суб'єкти підприємницької діяльності, об'єкти електроенергетики яких підключені до об'єднаної енергетичної системи України. [6]

Загальна встановлена потужність електричних станцій ОЕС України на вересень 2021 року приведені на рис 2.1 та 2.2 . Можливість ознайомитися з даними за 2022 рік – відсутня, внаслідок проведення бойових дій на території держави та непрацюючого сайту ДП НЕК "Укренерго" [6].

На даний момент забезпечення енергоефективного регулювання частоти і потужності в системі є не досить оптимальною, виходячи із наявної структури генеруючих потужностей ОЕС України. Така ситуація зумовлена наступними основними факторами:

1) не в повній мірі проходить залучення потужностей частки генерації АЕС для регулювання та покриття базової частини графіку енергоспоживання;

2) поступове зменшення маневреності енергоблоків ТЕС працюючих на твердому паливі через погіршення його якості та зношеності технологічного обладнання;

3) змінний і непередбачуваний графік роботи через природні фактори генеруючих потужностей, що виробляють з відновлювальних джерел.

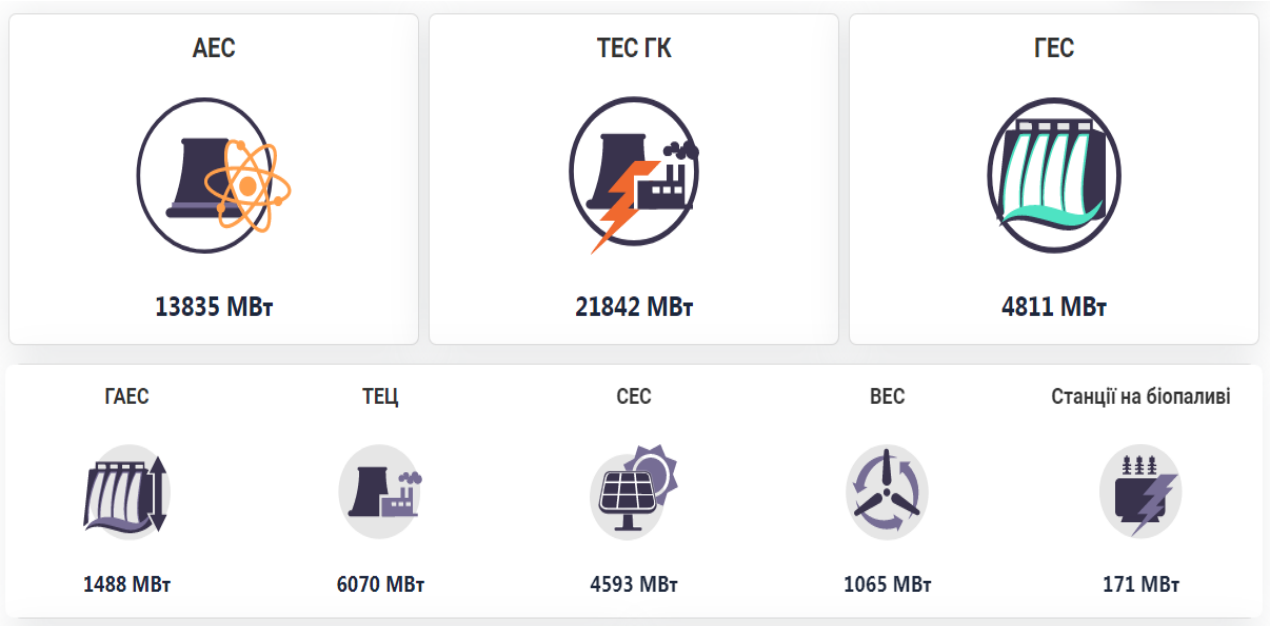


Рисунок 2.1 - Встановлена потужність енергосистеми України на 09.2021 року.

Споживання електричної енергії в Україні є нерівномірним протягом року, що обумовлюється змінами температури навколишнього середовища, а також значною частиною споживання електроенергії населенням та комунально-побутовими споживачами, відносно обсягів її споживання промисловістю Частина споживання промисловістю в загальному обсязі споживання протягом останніх п’яти років має стійку тенденцію до зниження (в 2013 р. навіть з урахуванням ТНКТ частка дорівнювала майже 46 %, а в 2021 р. без урахування ТНКТ - 39,3 %). В цей самий період частка споживання населенням зросла з 28,1% у 2013 р. до 31,7 % у 2021 р., також має тенденцію до зростання і частка споживання комунально-побутовим сектором.

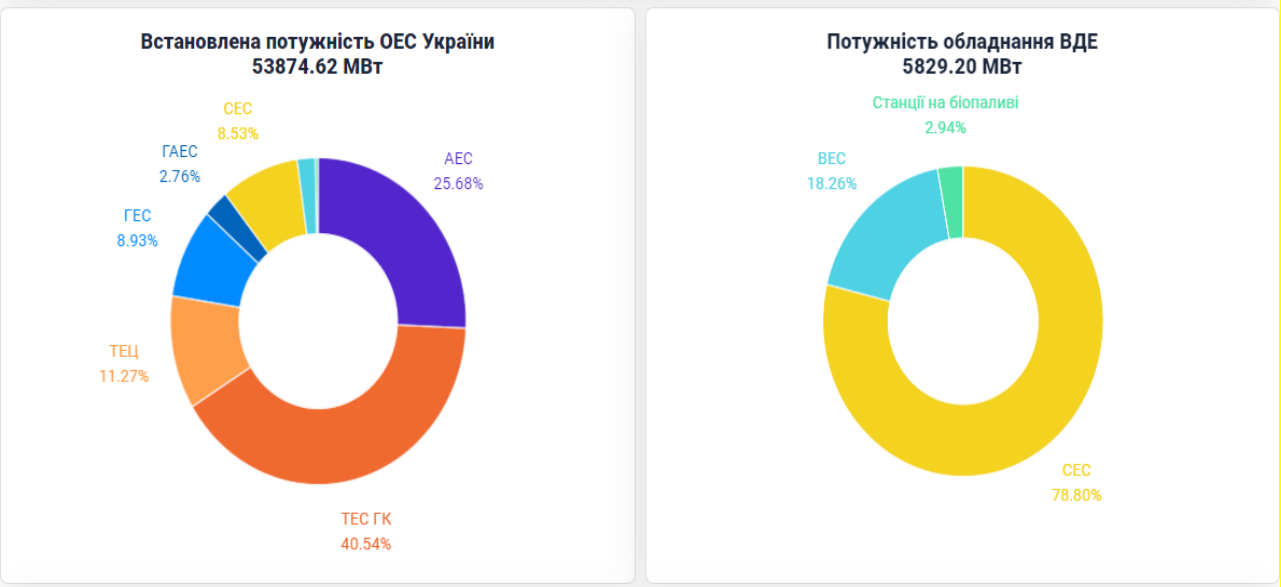


Рисунок 2.2 - Встановлена потужність ОЕС України та обладнання ВДЕ на 09.2021 року.

Збереження такої тенденції в майбутньому об’єктивно зумовлює необхідність підвищення вимог до маневреності традиційних генеруючих потужностей ОЕС України, а також додаткового мережевого будівництва для забезпечення операційної безпеки в певні періоди доби, зокрема протягом максимальної інсоляції вдень.

2.2 Обсяги споживання та виробництва електроенергії

Графік виробництва/споживання електроенергії – головний документ в диспетчерському управлінні ОЕС України, який регламентує роботу всіх суб’єктів об’єднаної енергосистеми сьогодні на завтра.

Відповідно до графіка балансується споживання електроенергії та її виробництво електростанціями. При цьому враховується забезпечення нормативних параметрів безпеки роботи генерації та мереж, забезпечення резервів потужності для покриття можливих втрат генерації чи підвищення споживання.

Графіки навантаження та виробнитства електроенергії розробляється ДП «Енергоринок», затверджується Головним диспетчером Укренерго та ДП «Енергоринок» та надається у відкритий доступ. Таким чином на рисунках 2.3 і 2.4 наведено актуальні графіки виробництва та споживання електроенергії за певний період.

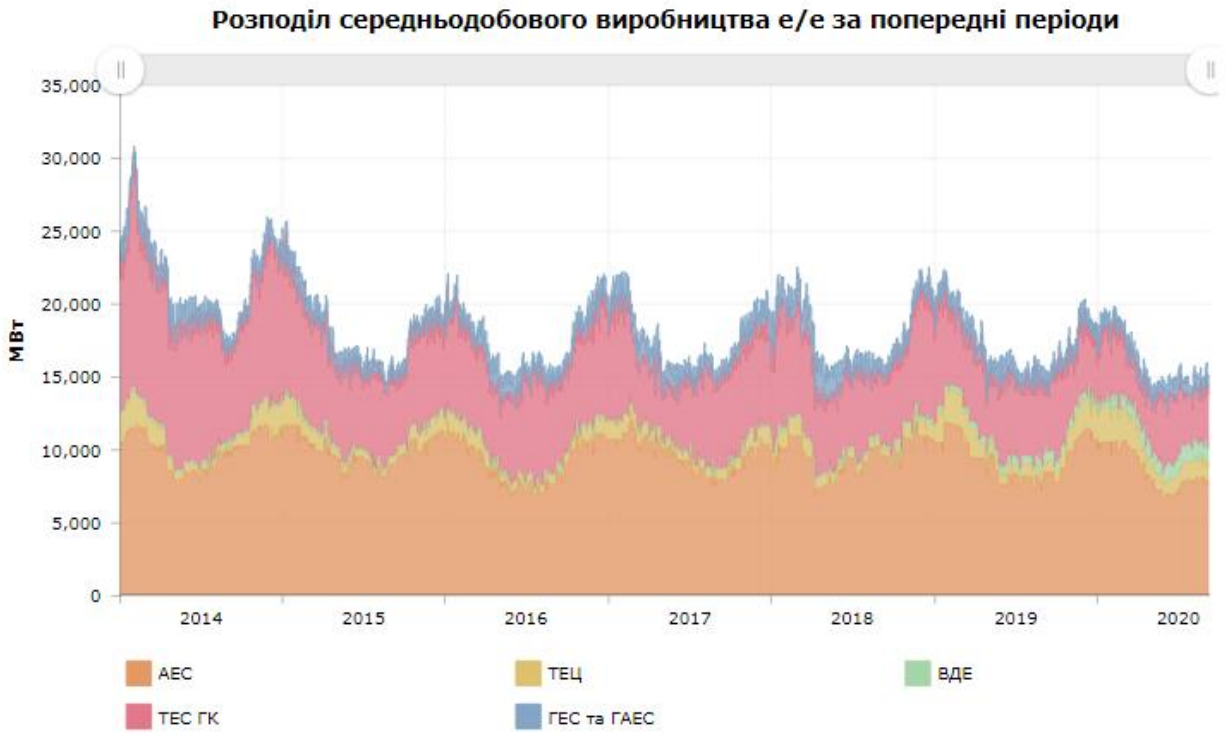


Рисунок 2.3 – Графік виробництва та споживання електроенергії за попередні роки. [6]

2.3 Добові режими навантаження ОЕС України

Негативною властивістю, як товарного продукту – електроенергії, залишається неможливість виробництва її на зберігання, складування (про запас) або акумулювання її надлишків. Причиною цього є одномоментність генерації, вироблення і споживання електроенергії. Річна, сезонна і добова нерівномірності попиту та споживання електроенергії обумовлена залежністю її виробництва від пори і місяця року та часу доби. На рисунку 2.5 приведений приклад добового графіка навантаження ОЕС на добу 26.02.2020 року.

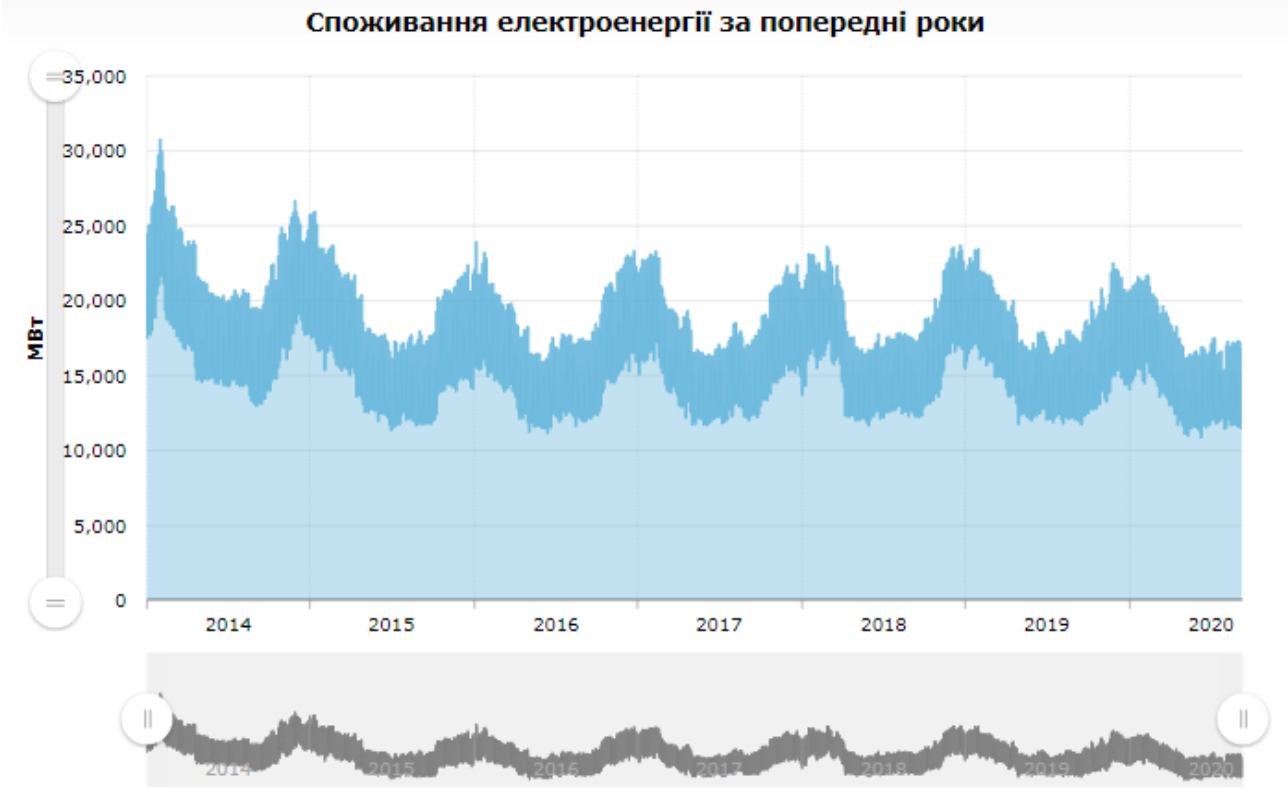


Рисунок 2.4 – Графік споживання електроенергії за попередні роки. [6]

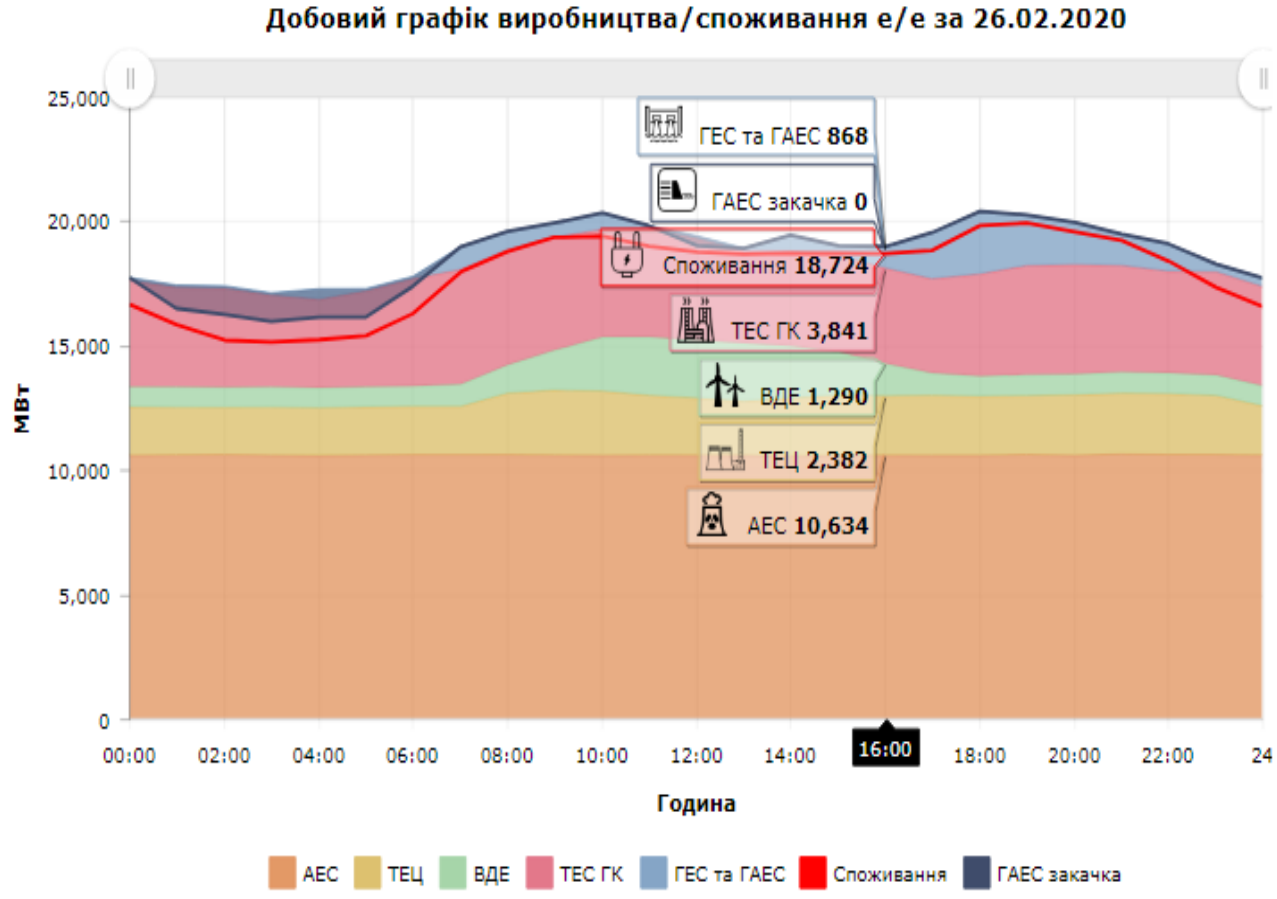


Рисунок 2.5 – Добовий графік виробництва та споживання електроенергії за 26.02.2020 р. [6]

Базуючись на даних, представлених раніше компанією ДП «Енергоринок» (так як на даний момент немає такої можливості), щодо виробництва та споживання електроенергії (рис. 2.6) – був побудований кільцевий графік для кращого розуміння енерго-економічної ситуації на дану добу.

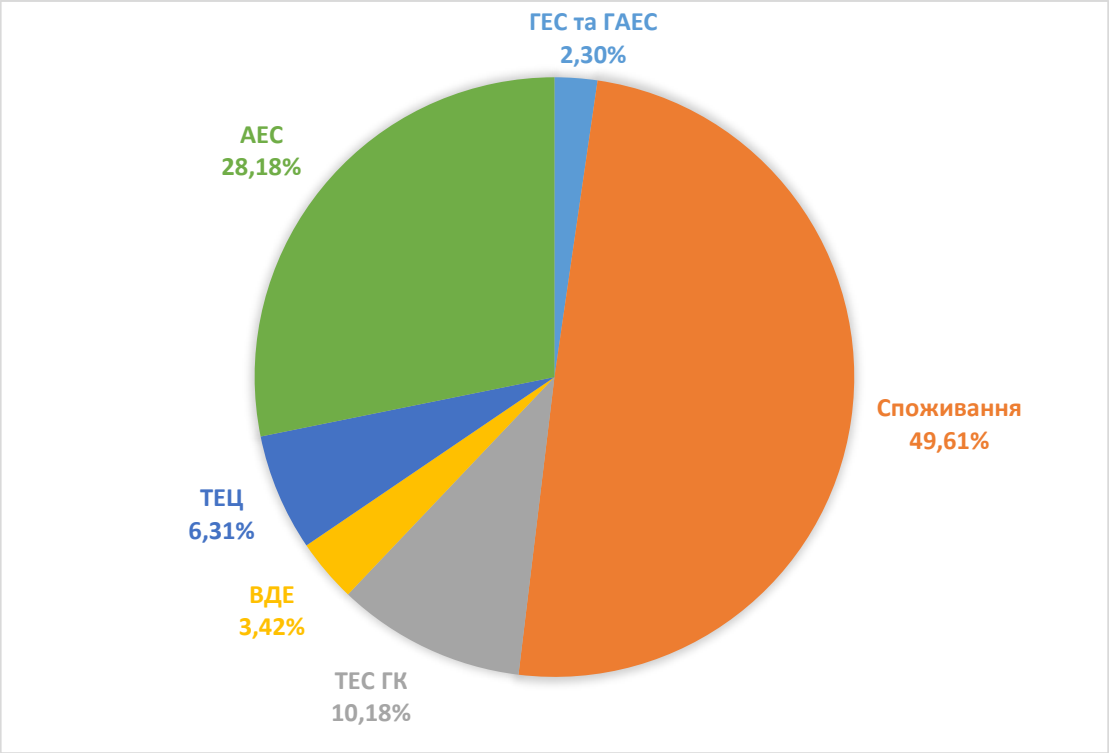


Рисунок 2.6 – Добовий кільцевий графік виробництва та споживання електроенергії за 26.02.2020 р.

З добового графіка виробництва енергії – загальна встановлена потужність електростанцій в цілому по країні становила 22,2 МВт, з яких: 20,2% припадає на теплові електростанції (ТЕС); 24,7% – атомні електростанції (АЕС); 2,9% – гідроелектростанції та гідроакумулюючі електростанції (ГЕС і ГАЕС); 2,7% – теплоелектроцентралі (ТЕЦ), блокстанції та інші об'єкти; около 0,4% – на поновлювані джерела енергії, такі, як вітрові електростанції (ВДЕ). Разом усі джерела енергії ледь покривають потреби країни (споживання електроенергії), враховуючи, що географічне розташування та наявність потужних міждержавних ліній електропередачі ОЕС України дозволяє забезпечувати

значний обмін електроенергією з енергетичними системами країн Європейського Союзу та енергетичними системами країн СНД.

У години мінімуму для заповнення провалу графіка навантаження відбувається закачування енергоресурсів. У години максимального споживання електроенергії покривають до 30-40% пікових навантажень.

Теплові електростанції все ще залишаються важливим засобом регулювання режимів виробництва електричної енергії в ОЕС. Настільки складно не проектні режими роботи базисних вугільних блоків ТЕС призводять до дострокового зносу обладнання, неекономічний режиму роботи і значним перевитрат палива.

Отже, нестача маневрових потужностей в Україні призводить до необхідності використання великих теплових енергоблоків для регулювання добових графіків електричного навантаження, що нераціонально з точки зору як втрати експлуатаційного ресурсу блоків, так і використання первинних енергоресурсів. Разом з тим надлишок потужності в нічні години при обмежених можливостях маневрування погіршує не тільки стійкість роботи ОЕС України, а й здатність синхронної роботи. Тому й необхідно вжити ряд дій для зменшення навантаження на ОЕС України, як наслідок – збереження коштів держави на додаткове обслуговування та збереження екології планети.

2.4 Питання з покриттям графіку електричних навантажень в ОЕС

Станом на сьогоднішній день, ДГН ОЕС України характеризується значною нерівномірністю. Прирівнюючи значення між номінальним навантаженням у нічні години та значення у години вечірнього максимуму споживання то вони становить у середньому 0,76 за рік, що має досить високий показник нерівномірності, а це в свою чергу не сприяє досягненню європейського рівня стабільності частоти.

Незбалансованість генеруючих потужностей в ОЕС в поєднані із низьким рівнем маневрових потужностей ГАЕС та ГЕС, що знаходиться в межах 9,6-9.8%, перешкоджає ефективному регулюванню ДГН та проходженню нічних

провалів споживання [6], що в свою чергу призводить до зниження надійності і стійкості роботи ОЕС України.

Споживання і виробництво електричної енергії значно знизилося у періоди з 2013 по 2021 років. Особливо у період 2014 р. з початком бойових дій на сході країни і в Криму, через значне зменшення обсягів електроспоживання всіх категорій споживачів. Також через погіршення фінансового стану населення та відносно теплі зими призвели до економії та зниження споживання електроенергії. Ці зміни привели до зниження щільності ДГН та зростання вимог маневрених можливостей ОЕС України, але також спостерігається зниження максимуму і мінімуму навантаження та зростання регулюючої ефективності ГАЕС. Добові графіки споживання в різні періоди року характеризуються значною нерівномірністю в основному через щорічне збільшення навантаження соціального і побутового електроспоживання.

2.5 Способи ущільнення добового графіка навантажень ОЕС України

Проблему стабілізації ДГН породжує одномоментність генерації та нерівномірність попиту споживання електроенергії. Основними способами підтримки миттєвих, добових і сезонних балансів потужностей зараз вважається регулювання потужності генерації, тобто первинне регулювання енергоблоків, використання резервних блоків, маневрові потужності, використання ГАЕС, робота у складі великих енергосистем з можливістю перетоків вільної потужності.

В Україні спостерігається, особливо в останній час, дефіцит маневрових потужностей. В критичних випадках для залучення у процесі регулювання графіка навантажень використовують потужні ТЕС і АЕС, що вважається крайньою мірою. Крім того, існуюча система регулювання за допомогою маневрових потужностей не спроможна забезпечити підтримку характеристик у межах діючих норм енергосистем Європи, а реконструкція систем автоматичного регулювання енергоблоків ТЕС потребує значних капітальних

вкладень. Можна також прогнозувати збереження дефіциту маневрових потужностей і у майбутньому в умовах переважного домінування атомної і теплової вугільної генерації при обмеженні спорудження нових ГАЕС.

Отже, використання нових енергоефективних способів і технічних засобів ущільнення графіків навантаження ОЕС є одним із актуальних завдань електроенергетики України.

Використовуються і запропоновані декілька способів ущільнення добового графіка навантажень. Найбільш раціональним вважається ущільнення ДГН за допомогою ГАЕС. Але ГАЕС в Україні ще довгий час будуть перебувати у стані незавершеного будівництва. Нині основними способами підтримки миттєвих, добових та тижневих балансів потужностей остаються за зміною потужності генерації впровадженими вже способами: первинним регулюванням енергоблоків та потужностей маневрових енергоблоків і існуючих ГАЕС, використанням резервних блоків.

У працях [7-11] був запропонований новий тип споживача електричної енергії, що при певних умовах буде здатен регулювати ДГН, та матиме можливість адаптуватися під умови нашої держави. Він розрахований на особливості енергобалансу України і базується на використанні електротеплоакумуляційного опалення в побутовій, соціальній та бюджетній сферах із споживанням електроенергії саме в години нічного провалу ДГН.

Електротеплоакумуляційне опалення повинно буде синхронізувати та замкнути виробництво енергії в єдиному колі, здійснювати миттєвий обліку перетоків електроенергії з перевагами, що є у централізованого і децентралізованого споживання енергії. ЕТА опалення повинно забезпечувати ефективність теплопостачання, за рахунок його енергоефективності та мінімізації витрат первинних енергоресурсів, на всіх етепах від генерації енергії до кінцевого її споживання.

Малопотужні ЕТА системи опалення стануть одним з ефективних споживачівта регуляторів добових режимів споживання електроенергії в інтересах ущільнення ДГН. Дана технологія не потребує введення нових

потужностей, а в свою чергу забезпечить:

- суттєве збільшення (близько 10%) коефіцієнта використання встановленої потужності АЕС і ТЕС;

- зменшення втрат при набиранні та скиданні навантаження маневрового генеруючого устаткування ОЕС при ручному (диспетчерському) режимі чи з використанням АСУ;

- економію споживання ПЕР за рахунок потенціалу нічної зони, яка становить у середньому 1100 МВт;

- поступове зменшення та заміщення споживання природного газу на об’єктах соціальної (школи, садочки) та житлово-комунальної сфери;

- зменшення викидів парникових газів і шкідливих викидів у навколишнє середовище;

- зменшення витрат енергії та палива на зупинки енергопотужностей повторні їх запуски;

- зниження кількості годин роботи, більш маневреніших режимах але менш економічних, базових енергоблоків ГЕС;

- зниження втрат при пусках чи зупинках в інтервалі нічного провалу графіків навантаження ОЕС, потужних енергоблоків особливо на АЕС і ТЕС;

- зниження технологічних втрат в електромережах (через зменшення перетоків електроенергії між обленерго, втрат х.х. в трансформаторах і потужних електродвигунах у період нічного провалу графіка);

- забезпечення швидкодіючого регулювання показників якості електричної енергії.

Результуючи, що впровадження технологій і обладнання ЕТА електрообігріву, як спосіб для додаткового способу ущільнення графіка навантаження енергосистеми, дозволить проводити модернізацію соціальної та побутової електроенергетики з одночасним забезпеченням людей високоякісним видом опалення. Також, що немало важно ЕТА опалення не потребує введення додаткових електрогенеруючих потужностей та реконструкції і модернізації електромереж. Крім цього досягається значне підвищення рівнів нічних та

денних мінімумів електроспоживання, що дозволить знизити значення потужності маневрових електростанцій, та призведе до значної економії енергоресурсів.

Вибір технології та обладнання для електроопалення буде також значною мірою залежати від регіону чи області проживання споживачів і як наслідок програми з термомодернізації енергопостачання мають свій обласний аспект (місце проживання).

2.6 Технічні засоби ущільнення ДГН за допомогою акумуляційного опалення.

На даним момент проходить розробка та апробція енергоефективної технології електротеплоакумуляційного (ЕТА) обігріву побудованої на вітчизняній елементній базі призначеної для використання у соціальній та побутовій сферах. З проведенням експериментів, дослідженнь, впроваджень та експлуатації ряду об’єктів з теплоакумуляційним електрообігрівом, регіонально розпочинають визначатися з найбільш перспективними для них технічними засобами.

Було визначено, що не має великого значення, де та яким чином акумулюється та накопичується теплова енергія в інтервалі нічного провалу ДГН. Теплова енергія може акумулюватися у водяному баці, в бетоні (поли, стіни)чи у твердотільному магнезитовому сердечнику. Пристроями ж з перетворювання електричної енергії у теплову можуть бути: теплові насоси; електрокотли (ТЕНові, електродні, індукційні); вихрові теплогенератори; електрообігрівачі з магнезитовим сердечником; системи з нагрівальними кабелями; установки гідродинамічного нагрівання. Для вибору та надання переваг тій чи іншій електротехнології обігріву перед традиційними технологіями проводяться дослідження й техніко-економічні розрахунки. Визначившись із доцільністю використання певного електричного теплозабезпечення та акумуляційного обладнання, визначаються з найбільш

оптимальним для них.

Вирішивши при цьому цілий ряд проблем і труднощів з вибору представлених на ринку способів і технічних засобів опалення, приходять до висновків, пропозицій та рекомендацій щодо прийняття того чи іншого типу електронагрівача та іншого супутнього обладнання для конкретного соціального об’єкта електроопалення.

2.7 Нічний провал ДГН ОЕС як базовий ресурс електроопалення

Найбільш зручним і універсальним видом енергоносія можна вважати електричну енергію, яка володіє здатністю миттєво передаватися, з великою щільністю на великі відстані, при цьому мати відносно малі втратами і можливістю перетворюватися в інші види енергії, а також хорошим її управлінням та контролем, обліком та надійністю постачання. Через ці критерії електроенергія здобула можливість широкого використання в різноманітних технологічних процесах. Особливо привабливою вона являється для побутових споживачів через зручність, комфортність, високим споживчим характеристикам, зокрема і використання електроопалення.

З погляду до аналізу графіків навантаження рис. 2.3, 2.4 та 2.5 показує, що існують великі провали навантаження в нічні періоди доби, що з погляду економії енергоресурсів вимагає їх заповнення. Одним з таких способів [6] щодо заповнення графіка можна запропонувати використання електроенергії на обігрів шляхом її електротеплоакумуляції в опалювальному пристрої.

Також необхідно звернути увагу на ряд недоліків в опалювальних пристроях, недовговічний (особливо ТЕНи) термін служби, в деяких випадках технологічна складність та трудомісткість монтажу обладнання. Тому першочерговим стоїть завдання з розробка електротехнічних засобів перетворення електричної енергії в теплову з подальшою її акумуляцією, які б володіли значною (десятки років) експлуатаційною надійністю високим ККД (коефіцієнтом корисної дії).

2.8 Висновки

Українська система генеруючих потужностей ОЕС, не є оптимальною, з точки зору забезпечення нею ефективного регулювання потужності.

На даний момент існують значні труднощі з ефективним покриттям ДГН в енергосистемі України і незначними величинами її доступної маневреної потужності, що призводить до необхідності використання теплових енергоблоків, значних втрат їх експлуатаційного ресурсу та використання первинних енергоресурсів.

З погляду до аналізу графіків навантаження енергетичної системи України показує, що існують великі провали навантаження в нічні періоди доби, що з погляду економії енергоресурсів вимагає їх заповнення. Одним з таких способів щодо заповнення графіка можна запропонувати використання електроенергії на обігрів шляхом її електротеплоакумуляції в опалювальному пристрої.

Техніко-економічне стимулювання заходів та засобів для завантаження нічної зони періоду доби є добре прогнозованою та довгостроковою політикою міністерства енергетики та відомств, що здійснюють тарифоутвореня. Це спрямування на подальше диференціювання тарифів та поглиблення пільгових ставок у нічному періоді, де спостерігається провал добового графіка навантажень ОЕС України.

Одним із актуальних завдань електроенергетики України, на сьогоднійший день є подальший розвиток електротехнологій з використання нових енергоефективних засобів та способів спрямованих на ущільнення графіків навантаження ОЕС нашої держави.

Розділ 3. Дослідження використання електротеплоакумуляційного нагріву

3.1. Акумулювання теплової енергії

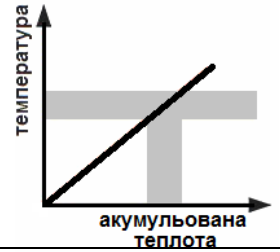
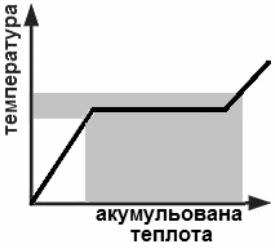
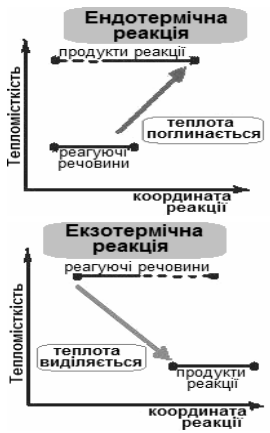
Сучасний розвиток науки і техніки дає можливість реалізації практично будь-якому принципу акумулювання теплоти. Доцільність впровадження кожного принципу визначається економічною ефективністю за мінімальної вартості акумулятора. Для забезпечення заданих параметрів проце су нагріву необхідно правильно визначитися об’ємом і масою впровадженого теплоакумулюючого матеріалу [12].

Акумулювання теплової енергії базується на використанні хімічних та/або фізичних процесів виділення та поглинання теплоти. До основних з них можна віднести процеси з накопичення та виділення теплової енергії в процесі нагрівання та охолодження рідких та твердих тіл, фазові переходи та хімічні реакції з поглинанням-виділенням теплоти [13]. В табл. 3.1 представлені основні види теплового акумулювання. Представлені способи якими енергія відбирається від джерела, перетворюється в теплову та віддається приймачу.

Спосіб акумулювання за рахунок використання енергії зв'язку атомів і молекул значно більше дозволяє запасати теплової енергії на одиницю ваги, але досить складний у практичній та економічній реалізації (зміна властивостей ТАМ при нагріванні і охолоджені, неповнота завершеність хімічних реакцій, значна взаємодія при контакті з повітрям, водою, дороговартісний наповнювач) [14]. А от перші два способи (табл. 3.1) більш доречні для їх практичного використання в електротаплоакумуляторах.

Впровадження акумуляторів теплоти за рахунок збільшення внутрішньої енергії будуть більш простими і економічними в технічній реалізації. Робочим середовищем, в першу чергу мінерали, камінь, є відносно дешеві матеріали з високою теплоємністю [15]. Головною перевагою цього виду є простота конструкції акумуляторів та довговічність самих матеріалів, проте розміри таких акумуляторів залежно від конкретних умов застосування можуть бути надмірно великими.

Таблиця 3.1 Методи акумулювання теплової енергії

Види тепло-акумулювання	Принцип роботи теплоакумуляторів	Залежності	Фази роботи	Використаний матеріал	Густина енергії (об'ємна), МДж·м$^{-3}$	Акумульований об’єм матеріалу 10^3 МДж·м^3
В наслідок використання збільшення внутрішньої енергії	Середовище накопичує (акумулює) теплову енергію при нагріванні		рідина	метали (рідкі), вода, рідини органічні, розплави солей	до 1000	в межах 16 - 30
			тіло тверде	кераміка, метали, мінерали		
В наслідок використання теплоти фазового переходу	Під час зміни агрегатного стану середовища при постійній температурі відбувається виділення та поглинання теплоти		рідина - тіло тверде	парафіни, жирні кислоти, метали та їх солі, кристалогідрати неорганічних солей	до 2700	в межах 2,5 - 6,5
			тіло тверде -тіло тверде	деякі полімери, гідроокиси,		
В наслідок використання енергії зв'язку атомів і молекул (так званне термохімічне та сорбційне теплоакумулювання)	Під час оборотних хімічних реакцій виділяється і поглинається велика кількість енергії		газ – тіло тверде	MgO/H_2O, CaO/H_2O, $FeCl_2/NH_3$	в межах 2800…4200	в межах 0,6 - 1,5
			газ-газ	CH_4/H_2O		
			газ - рідина	$NaOH/H_2O$, $LiBr/H_2O$, H_2SO_4/H_2O		

3.2 Акумулювання теплоти з використанням твердих матеріалів

Акумулюючим середовищем в цьому випадку служить тверде тіло, яке нагрівається і охолоджується. Використання твердих теплоакумулюючих (ТАМ) речовин забезпечує максимальну простоту конструкції і високий рівень робочих температур, але вимагає великих мас цих речовин. Крім цього, температура теплоносія на виході з акумулятора змінюється протягом часу, що вимагає додаткової системи підтримки її на заданому рівні.

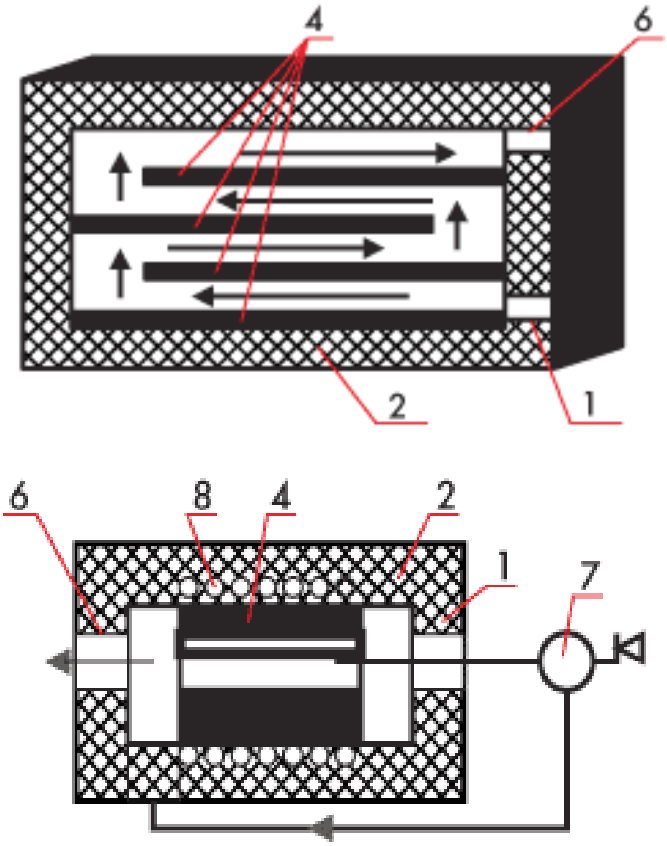
Основними характеристиками для твердих ТАМ є теплопровідність, питома теплоємність та температуропровідність. Порівняння різних твердих матеріали ТАМ наведені у табл. 3.2. Здатність матеріалу проводити теплоту характеризує коефіцієнт теплопровідності. Мірою теплоінерційних властивостей матеріалу являється коефіцієнт температуропровідності, а саме зміна температури в часі $\partial\tau/\partial\tau$ для будь якої точки простору пропорційна температуропроводності.

Таблиця 3.2. Властивості твердих ТАМ

ТАМ	Густина , кг/м^3	Об`ємна теплоємність,кДж/м^{3}К	Коефіцієнт теплопровідності , Вт/(мК)	Питома теплоємність, кДж/(кгК)	Коефіцієнт температуропроводності, м^2/с
Бетон з щебнем	2000,0	1680,0	1,280	0,840	$7.62\cdot10^{-7}$
Шамот	1900,0	1891,0	1,130	0,995	$5,76\cdot10^{-7}$
Червона цегла	1800,0	1584,0	0,770	0,880	$4,86\cdot10^{-7}$
Хромомагнезит	2900,0	3115,0	1,850	1,0740	$5,94\cdot10^{-7}$

Твердий матеріал у якого значення коефіцієнта температуропровідності буде більше у того вирівнювання температур у всіх точках буде і йти швидше, наприклад аналізуючи табл. 3.2 кращі показники має вогнетривкий матеріал хромомагнезит, що також краще витримує теплові навантаження при великій кількості циклів заряду – розряду, наріву – охолодження.

Теплові акумулятори розглядаються як з нерухомою так і з рухомою матрицями [16]. Простоту конструкції забезпечує використання нерухомої матриці (рис. 3.1), але вимагає великих затрат ТАМ. При цьому температура теплоносія (наприклад повітря) на виході з акумулятора змінюється протягом часу, це вимагає впровадження електричної системи регулювання постійних параметрів шляхом перепуску. Використання позапікової енергії можна реалізувати в системах електротеплопостачання на базі канальних теплових акумуляторів. При цьому теплоакумулюючі матеріали такі як магнезит, шамот, цегла, бетон і т.п., нагрівати в періоди мінімального споживання електроенергії – в ночі, що дозволить вирівнювати графіки завантаження працюючих електростанцій. Пропускаючи холодне повітря як теплоносій через ТА матрицю можна таким чином обігрівати приміщення.



1- вхід теплоносія; 2- теплоізоляція; 3- розділові ґрати; 4- ТАМ; 6- вихід теплоносія; 7 - поділ потоків; 8 - індуктор

Рисунок 3.1 - Канальні типи теплових акумуляторів з твердим теплоакумулюючі матеріалом.

Для акумулювання теплоти доцільно впроваджувати електротепло-акумулятори канального типу на основі твердих ТАМ (рис.3.1 а, б), за рахунок дешевих нічних тарифів на електоренергію. При цьому зарядка акумулятора теплом відбувається при нагріванні акумулюючої насадки (матриці) від електричних нагрівачів (ТЕН), а розрядка (віддача теплоти) – при пропусканні теплоносія (повітря) через канали в матеріалі (рис. 3.2).

Тому ми пропонуємо впровадити для акумулювання тепла тверді ТАМ накопичене тепло в нічний період за рахунок дешевого нічного тарифу (рис.3.2).

В табл. 3.3 приведені характеристик матеріалів: коефіцієнта теплопровідності λ, Вт/(м·К), питомої масової теплоємності c, кДж/(кг·К), та густини ρ, кг/м³.

Температуропровідність матеріалу a, м^2/с, визначається:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

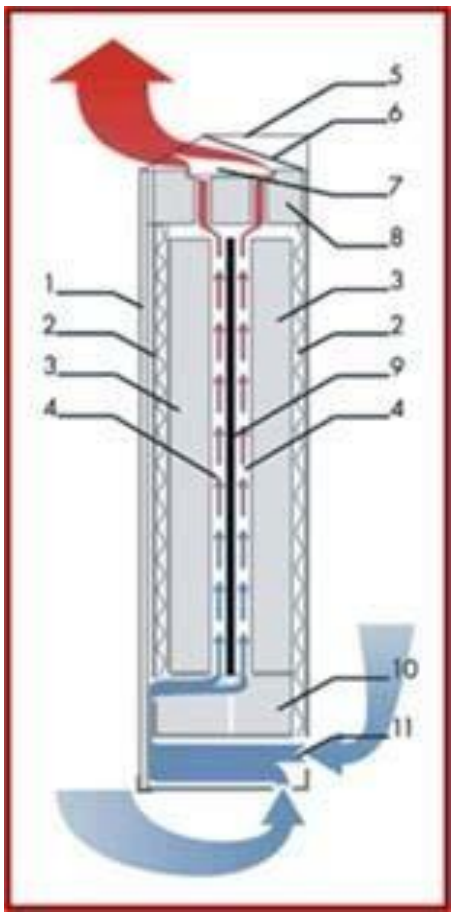


Рисунок 3.2 - Акумулятор теплоти на основі твердих матеріалів.

Таблиця 3.3 Порівняння теплоакумулюючих матеріалів

Матеріал	Густина	Теплопровідність	Питома об'ємна теплоємність	Питома масова теплоємність	Відносна маса	Відносний об'єм	Температуропровідність	Коефіцієнт акумуляції теплової енергії	Відносна кількість акумульованої теплової енергії
	ρ, кг/м^3	λ, Вт/м·К	$c\,\rho$, кДж/м^3·К	c, кДж/кг·м^3	m	V	$A \cdot 10^{-6}$, м^2/с	b, Вт·с^{0,5}/м^2·К	$\chi\infty$,
Чавун	7150,0	45,00	3718,0	0,520	1,0	1,0	12,100	12935,0	1,0
Бетон	1950,0	1,250	1638,0	0,840	0,620	2,270	0,760	1431,0	0,111
Магнезит	3000,0	2,250	2850,0	0,950	0,550	1,300	0,790	2532,0	0,196
Шамот	2015,0	0,950	2418,0	1,200	0,430	1,540	0,390	1516,0	0,117

Одним із основних параметрів при виборі ТАМ є здатність витримувати високі температури розігріву, при умові що температура розігріву матеріалу не буде перевищувати значення температури його плавлення. Також звертають увагу на значення температури після якої можливе значне погіршення характеристик матеріалу.

Зазначимо, що чим вищою буде температура розігріву теплоакумулюючого матеріалу, тим більшоюбуде кількість акумульованої енергії в ньому, а значить дозволить зменшити об’єм та вагу теплоакумулятора. Проте необхідно звернути увагу на те, що розігрів до високого значення температури ТАМ вимагатиме більш дорогоцінних і якісних електричних нагрівачів (ТЕНів) та теплоізоляційних матеріалів для ТАМ.

На даний час , в літературі [16], прийнятий діапазон значень температури розігріву теплоакумулюючих матеріалів, що знаходиться в межах 600...800 °С.

Для визначення питомої об’ємної теплоємності матеріалу $c \cdot \rho$, кДж/(м³·К) використовується рівняння для визначення кількості теплоти, що накопичується чи віддається тілом Q, кДж:

$$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta t, \tag{3.1}$$

Одне з найвищих значень питомої об’ємної теплоємності $c \cdot \rho$ має чавун та феоліт. Однак, це не є не основним фактором, на який звертають увагу при виборі матеріалу. Тому можна запропонувати використання магнезиту та шамоту, що за однакової кількості акумульованої теплової енергії необхідний об’єм магнезиту і шамоту хоча й буде більшим, але акумуляційний блок з магнезиту і шамоту буде важити значно менше. При зменшенні ваги ТАМ, зменшаться і витрати на транспортування, винос, монтаж та експлуатацію опалювального приладу.

Для характеристики здатності матеріалу накопичувати та віддавати теплоту використовують коефіцієнт акумуляції теплової енергії b:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho} \tag{3.2}$$

3.3 Оцінка ефективності акумулювання теплоти твердими теплоакумулюючими елементами електротеплового акумулятора

Для широкого впровадження систем електроопалення з електротепловими акумуляторами (ЕТА) необхідна комплексна оцінка ефективності роботи таких опалювальних систем, а саме: дослідження теплофізичних властивостей твердих теплоакумулюючих матеріалів і теплових процесів, що протікають в ЕТА в режимі заряду і віддачі теплоти. Такі дослідження необхідні для оцінки факторів, які впливають на теплообмінні процеси та процеси акумулювання теплоти у ЕТА в режимі заряду та віддачі теплоти.

Використання подібних систем електроопалення регламентується ДБН.2.5-67:2013 “Опалення, вентиляція і кондиціювання” пункт 6.1.3. Також

рекомендується впровадження систем електроопалення, які передбачають використання електричного теплоакумуляційного обігріву та гарячого водопостачання “Державною цільовою економічною програмою енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2016 роки”.

Проаналізовано зміну теплофізичних властивостей твердих теплоакумулюючих матеріалів залежно від температури. Формули для розрахунку коефіцієнтів теплопровідності та теплоємності наведено у табл. 3.4. Для феоліту наведено осереднені значення теплофізичних властивостей [17].

Таблиця 3.4Теплофізичні властивості твердих теплоакумулюючих матеріалів

Матеріал	$\rho_{ср}$, кг/м^3	c_p, кДж/кг· °С	λ, Вт/м· °С
Магнезит	3000,0	$4{,}70 - 1{,}70\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$	$1{,}05 + 0{,}29\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$
Шамот	2200,0	$0{,}840 + 0{,}580\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$	$0{,}88 + 0{,}23\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$
Феоліт	3900,0	0,920	2,100
Динас	2200,0	$0{,}930 + 0{,}69\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$	$0{,}837 + 0{,}25\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$
Корунд	3300,0	$2{,}10 + 1{,}90\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$	$0{,}79 + 0{,}42\cdot10^{-3}T_{ТАМ}$

На рис. 3.3, 3.4 наведено коефіцієнти теплопровідності та теплоємності для діапазону температур 650–70 °С. Це є максимальна та мінімальна температури, відповідно до яких теплоакумулюючі елементи ЕТА нагріваються в режимі заряду та остигають у режимі віддачі теплоти.

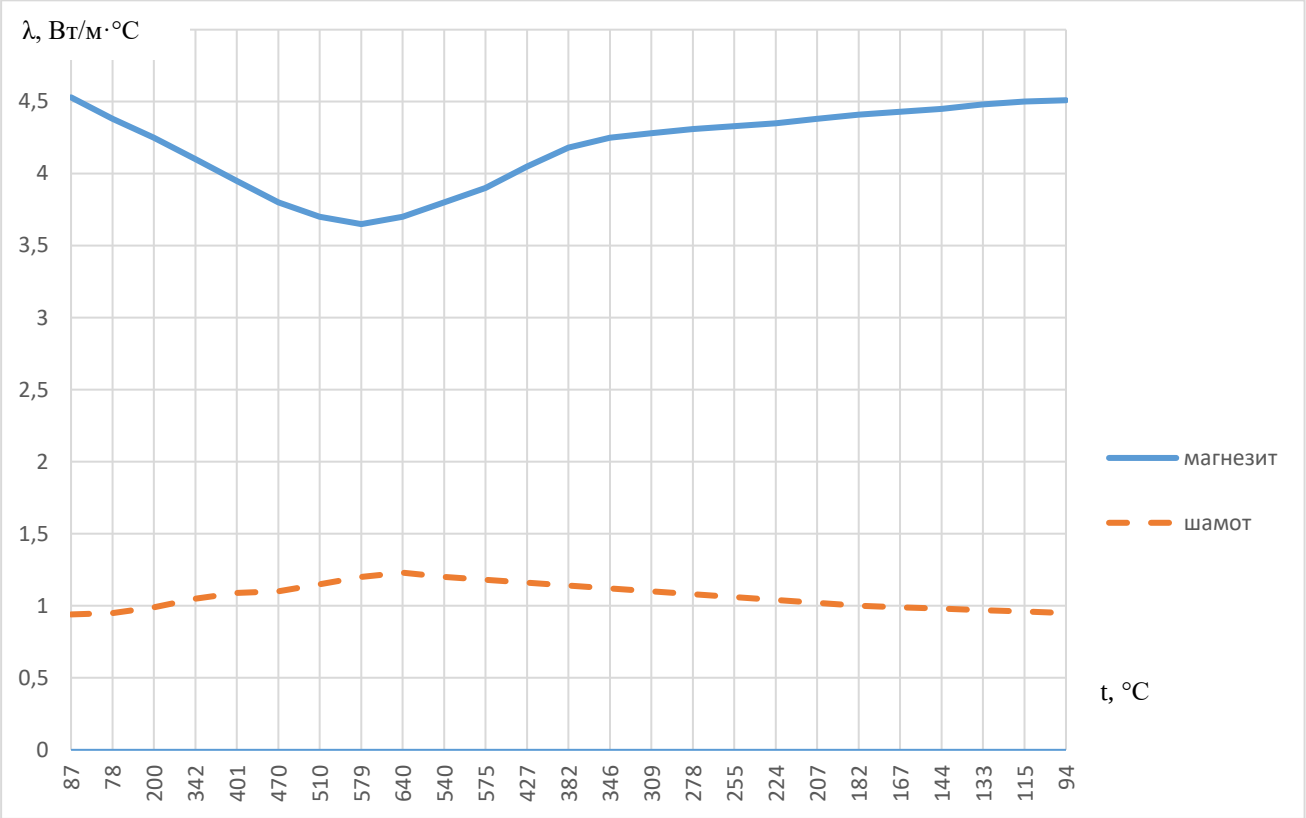


Рисунок 3.3 - Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури ТАМ

Проаналізувавши отримані результати, можна зазначити, що шамот, корунд та динас характеризуються прямою залежністю зміни коефіцієнта теплопровідності від температури (рис. 3.3). У процесі нагрівання та охолодження магнезит має найбільші значення коефіцієнтів теплопровідності та теплоємності серед досліджуваних матеріалів (рис. 3.3, 3.4). Також слід зазначити, що коефіцієнт теплопровідності магнезиту обернено пропорційний зростанню температури.

Наступним етапом було визначення коефіцієнта температуропровідності вибраних теплоакумулюючих матеріалів (рис. 3.5). Найбільше значення коефіцієнта температуропровідності має - магнезит, а найменше - шамота. Також було розраховано питому теплоакумулюючу здатність обраних матеріалів:

$$q_{ПТ} = \frac{c_p m(T_{TAM2} - T_{TAM1})}{m} = c_p(T_{TAM2} - T_{TAM1}) \quad (3.3)$$

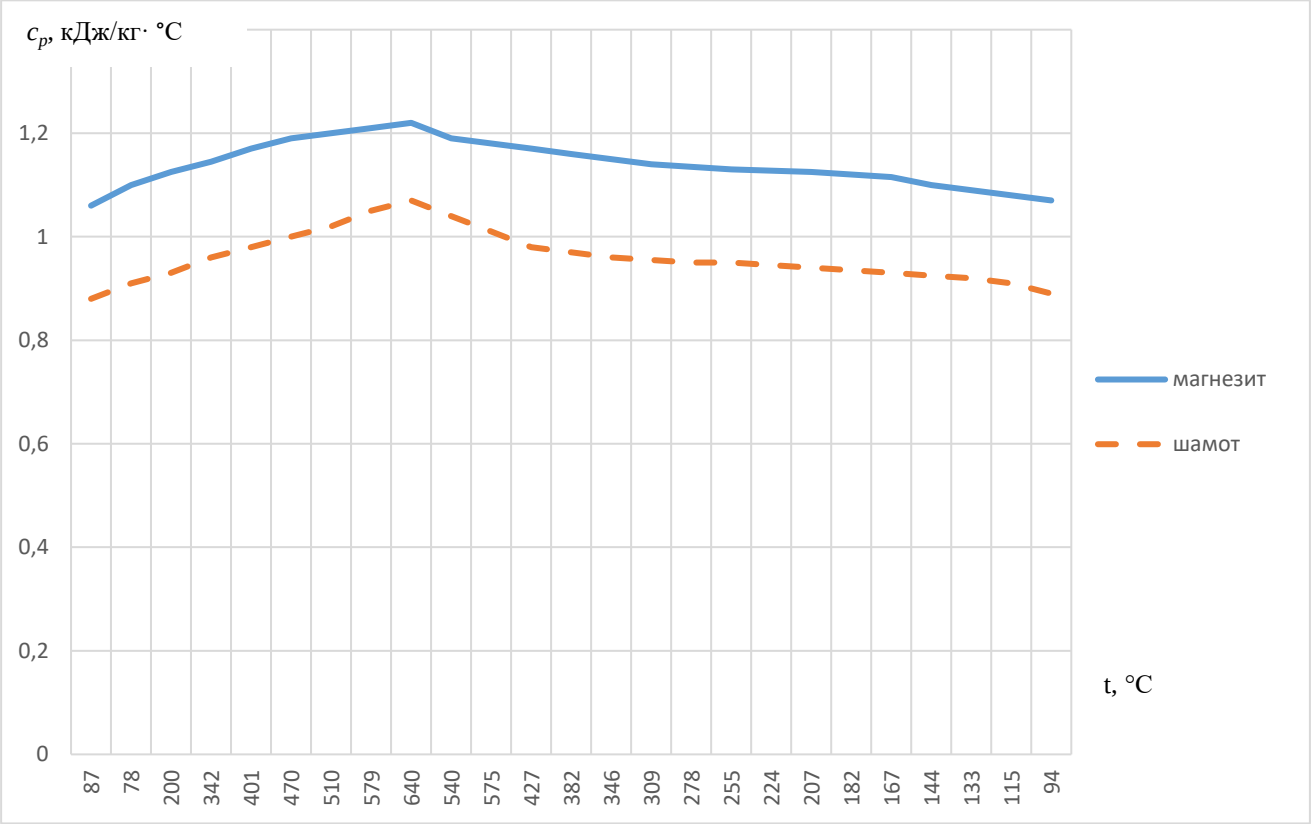


Рисунок 3.4 - Залежність коефіцієнта теплоємності від температури ТАМ

Розраховані значення питомої теплоакумулюючої здатності в діапазоні 650–700 °С та за середнього коефіцієнта теплоємності матеріалів наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Питома теплоакумулююча здатність та середній коефіцієнт теплоємності матеріалів.

Матеріал	Магнезит	Шамот
$c_{p\text{ср}}$	1,140	0,950
$q_{\text{пт}}$	663,0	554,0

3.4 Теплове акумулювання як спосіб підвищення енергетичної ефективності систем теплопостачання

Більшість опалювального обладнання, яке працює в котельнях, особливо в невеликих містах та сільських районах, давно виробили свій ресурс, тому ККД таких котлів значно знизилося та не перевищує 70 %. Використання їх у денний період для підігріву води на потреби гарячого водопостачання (ГВП) вкрай

нераціонально через зниження та нерівномірність навантаження, що призводить до великого перевитрати палива. Враховуючи той факт, що в денний час характерна наявність виробленого надлишку електроенергії, то використання ЕТА для накопичення теплової енергію в нічний період доби є доцільним.

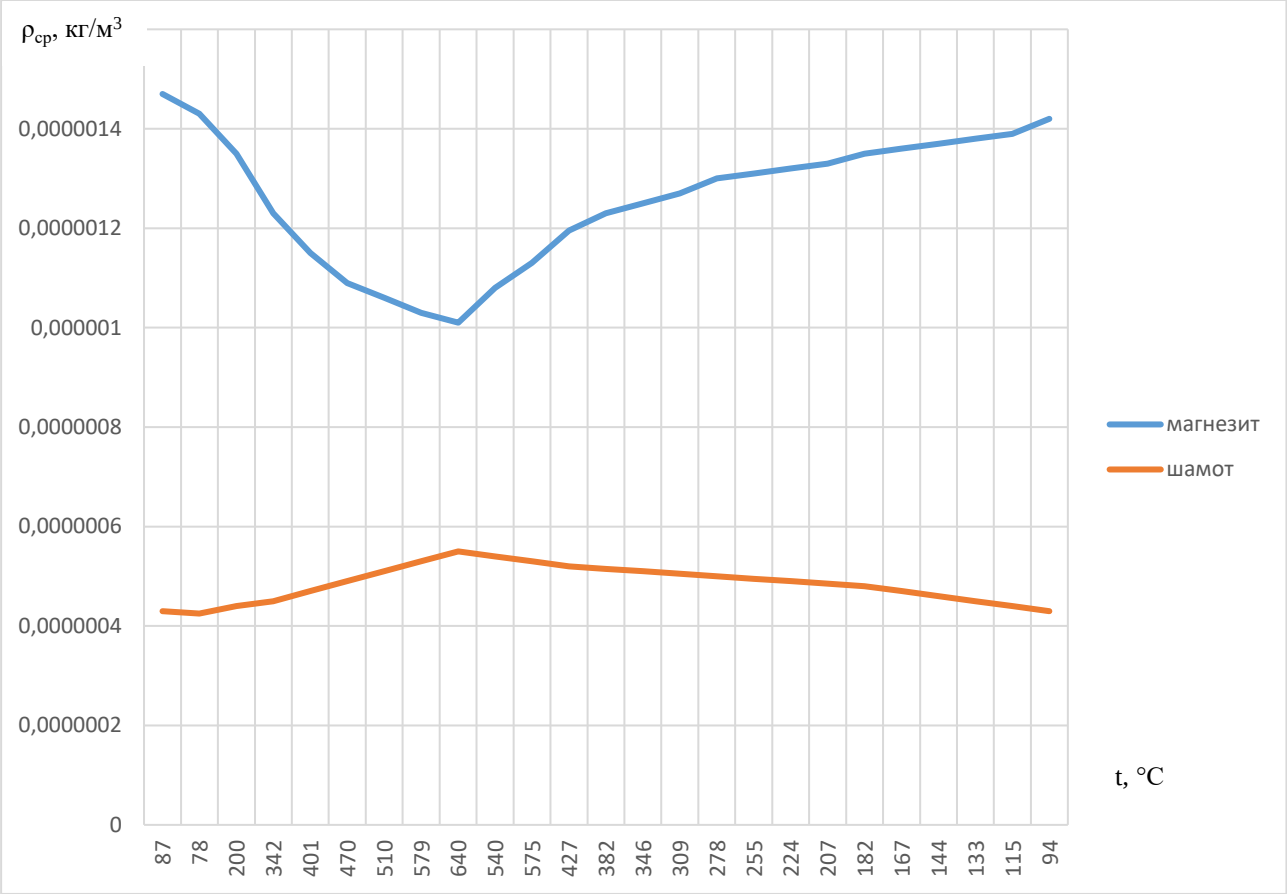


Рисунок 3.5 - Залежність коефіцієнта температуропровідності від температури ТАМ

У системі теплопостачання пропонується застосування ТА із шаровою теплообмінною насадкою (рис. 3.6). У таких ТА використовується теплоємність акумуляційного шару матеріалу (галька, магнезит, шамот, цегла), через який проходить теплоносій - повітря, що віддає тепло шару акумулюючого матеріалу при зарядці ТА або відбираючи тепло при розрядці. Такі шарові насадки матимуть високий коефіцієнт теплопередачі між повітрям і ТАМ, високу теплоємність, низьку вартість акумуляційного матеріалу.

Такі ТА складатимуться з контейнера та шару теплової ізоляції для підтримки акумулюючого матеріалу та напрямних лопаток у нижній та верхній частині для розподілу потоку повітря.

При нагріванні і-го шару теплообмінної насадки акумулятора тепловий баланс визначається рівнянням [18]:

$$\left(\rho \cdot C_p \cdot F \cdot \Delta x\right)\frac{dT_{b,i}}{d\tau} = \alpha_V \cdot F \cdot \Delta x\left(T_{f,i} - T_{b,i}\right) - Q_{втрати,i}, \tag{3.4}$$

де ρ – густина матеріалу шарової насадки, кг/м^3;

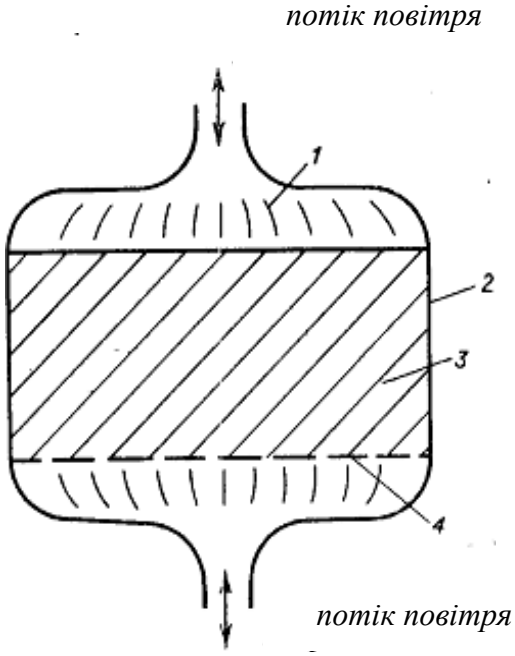
C_P – питома теплоємність матеріалу насадки, Дж/кг·°С;

F – площа поперечного перерізу насадки, м^2;

α_V – коефіцієнт тепловіддачі насадки з одиниці площі: $\alpha_V=(A/V)\cdot\alpha$;

$T_{b,i}$ – температура і-го шару насадки, °С;

$T_{f,i}$ – температура теплоносія на виході з і шару насадки, °С;



1 – напрямні лопатки для розподілу потоку теплоносія; 2 – контейнер; 3 – шарова насадка; 4 – теплова ізоляція

Рисунок 3.6 - Схема акумулятора з шаровою насадкою.

Якщо знехтувати теплоємність теплоносія (зазвичай це повітря), то температура $T_{f,i}$ визначається як:

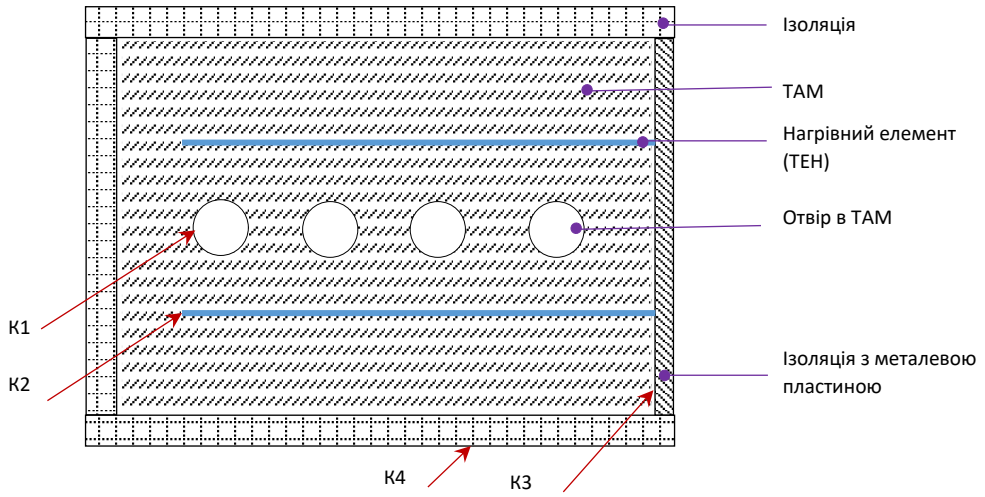
$$T_{f,i} = T_{f,i-1} - \frac{\alpha_V \cdot A \cdot \Delta x}{(G \cdot C_P)_C}\left(T_{f,i-1} - T_{b,i}\right) \quad (3.5)$$

Враховуючи той факт, що всі види ТА працюють у нестаціонарному тепловому режимі, то одним із найважливіших завдань є підвищення динамічних характеристик – оптимізація процесів заряду та розряду шляхом раціонального вибору конструктивних характеристик ТА та його робочого тіла.

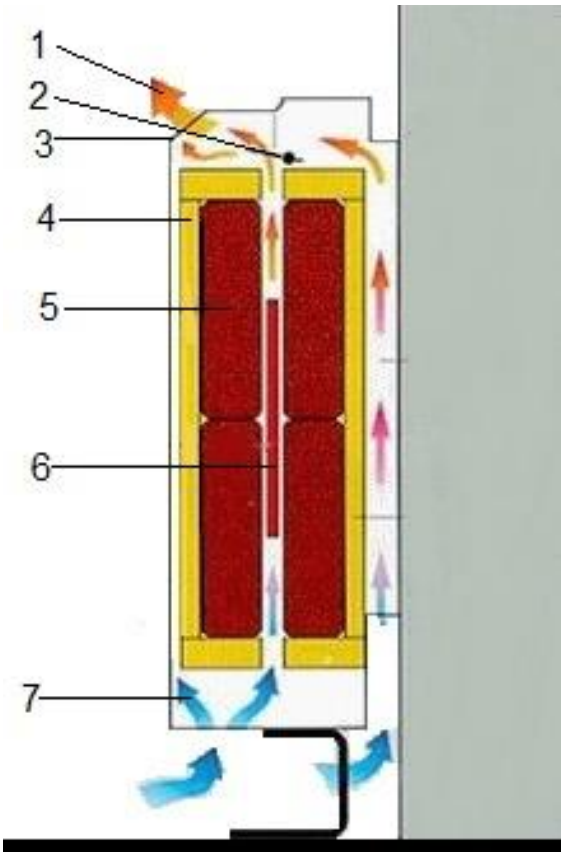
3.5 Математична модель теплообмінних процесів, що протікають в електротеплоакумуляторі

ЕТА працює у 2 режимах: режим заряду (нагрівання) та віддачі (остигання) тепла. В режимі заряду відбувається нагрівання теплоакумулюючих елементів за допомогою вбудованих трубчастих електронагрівачів (ТЕН) [19-22].

Проведемо адаптацію математичної моделі теплообмінних процесів, що протікають в ЕТА в режимі заряду та віддачі теплоти для запропонованої конструкції теплоакумулюючого елемента з чотирма каналами круглого перерізу з шамоту. Схема стандартного теплоакумулюючого елемента із заданими граничними умови та принципом роботи ЕТА зображено на (рис. 3.7): теплоакумулюючий елемент з магнезиту розміром 0,2×0,3 м, у центрі якого розташовані чотири паралельних повітряних каналів діаметром 0,3 м. Довжина кожного повітряного каналу – 0,6 м. Бічні поверхні теплоакумулюючого елемента покриті тепловою ізоляцією, товщина якої становить 0,05 м. Матеріал теплової ізоляції – глиноземне волокно, з'єднане з оксидом алюмінію [19,22].



а



б

1 – потік підігрітого повітря, 2 – регулятор подачі нагрітого повітря, 3 – корпус, 4 – теплова ізоляція, 5 – теплоакумуляційний матеріал, 6 – нергівний елемент, 7 – припливний потік кімнатного повітря.

Рисунок 3.7 - Схема теплоакумулюючого елемента *а* та роботи ЕТА *б* .

Вирішимо двомірне пряме сполучене завдання теплопровідності. Застосуємо чисельний спосіб вирішення – методом кінцевих елементів [19,22].

Система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \rho_{там} c_{там} \dfrac{dT_{там}}{dt} = \lambda_1 \left(\dfrac{d^2 T_{там}}{dx^2} + \dfrac{d^2 T_{там}}{dy^2} \right) \\ \rho_{мп} c_{мп} \dfrac{dT_{мп}}{dt} = \lambda_4 \left(\dfrac{d^2 T_{мп}}{dx^2} + \dfrac{d^2 T_{мп}}{dy^2} \right) \end{cases} \quad (3.6)$$

де $\rho_{там}$, $\rho_{мп}$ – щільність ТАМ та металевої пластини;

$c_{там}$, $c_{мп}$ – теплоємність теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ) та металевої пластини, кДж/(кг·°С);

$T_{там}$ - температура ТАМ, °С;

$T_{мп}$ – температура металевої пластини, °С.

Приймемо граничні умови (рис) К1, К2, К3, і К4 з врахуванням роботи ЕТА в режимах накопичення і віддавання тепла.

Початкові умови: при $T = 20$ °С, $T_{спк} = T_{нп} = T_{зпт}$;

де $T_{спк}$ – температури стінки повітряного каналу, °С;

$T_{нс}$ – температура навколишнього середовища, °С;

$T_{нп}$ - температура повітря, що нагрівається, °С.

К1:
$$\alpha_{пк} \left(T_{спк} - T_{нп} \right) = -\lambda_м \frac{d^2 T_{спк}}{dx^2}; \alpha_{пк} = f(t); T_{нп} = f(t); \quad (3.7)$$

К2:
$$-\lambda_{тен} \frac{dT_{там}}{dx} = q; q = const; \quad (3.8)$$

К3:
$$-\lambda_м \frac{d^2 T_{там}}{dy} = -\lambda_{мп} \frac{dT_{мп}}{dy}; T_{там}(x,y) = T_{мп}(x,y); \quad (3.9)$$

К4:
$$-\lambda_{тi} \frac{dT_{зпт}}{dy} = \alpha_{тi} \left(T_{зпт} - T_{нп} \right) + \varepsilon c_0 \left[\left(\frac{T_{спк} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{нс} + 273}{100} \right)^4 \right]. \quad (3.10)$$

$$\alpha_{тi} = f(t); T_{нс} = const.$$

де $\alpha_{пк}$, α_{mi}– коефіцієнт тепловіддачі від стінки повітряного каналу до потоку нагрітого повітря та від зовнішньої поверхні теплової ізоляції до потоку навколишнього повітря, Вт/(м^2·°С);

$T_{зпт}$ – температура зовнішньої поверхні теплоізоляції ЕТА, °С;

q – густина теплового потоку від стінок сталевої оболонки ТЕН, Вт/м^2;

$\lambda_м$, $\lambda_{тен}$, $\lambda_{мп}$, λ_{mi}– коефіцієнт теплопровідності відповідно магнезиту, сталевої оболонки трубчастих електричних нагрівачів ТЕН, металевої пластини, теплової ізоляції, Вт/(м·°С);

c_0 – постійна Стефана-Больцмана, Вт/(м^2·К^4);

ε – ступінь чорноти теплоакумулюючого матеріалу.

Отримані результати математичного моделювання теплообмінних процесів у теплоакумулюючому елементі з магнезиту запропонованої конструкції при заданих умовах протягом періоду заряду та віддачі тепла в добовому циклі наведено на рис. 3.8.

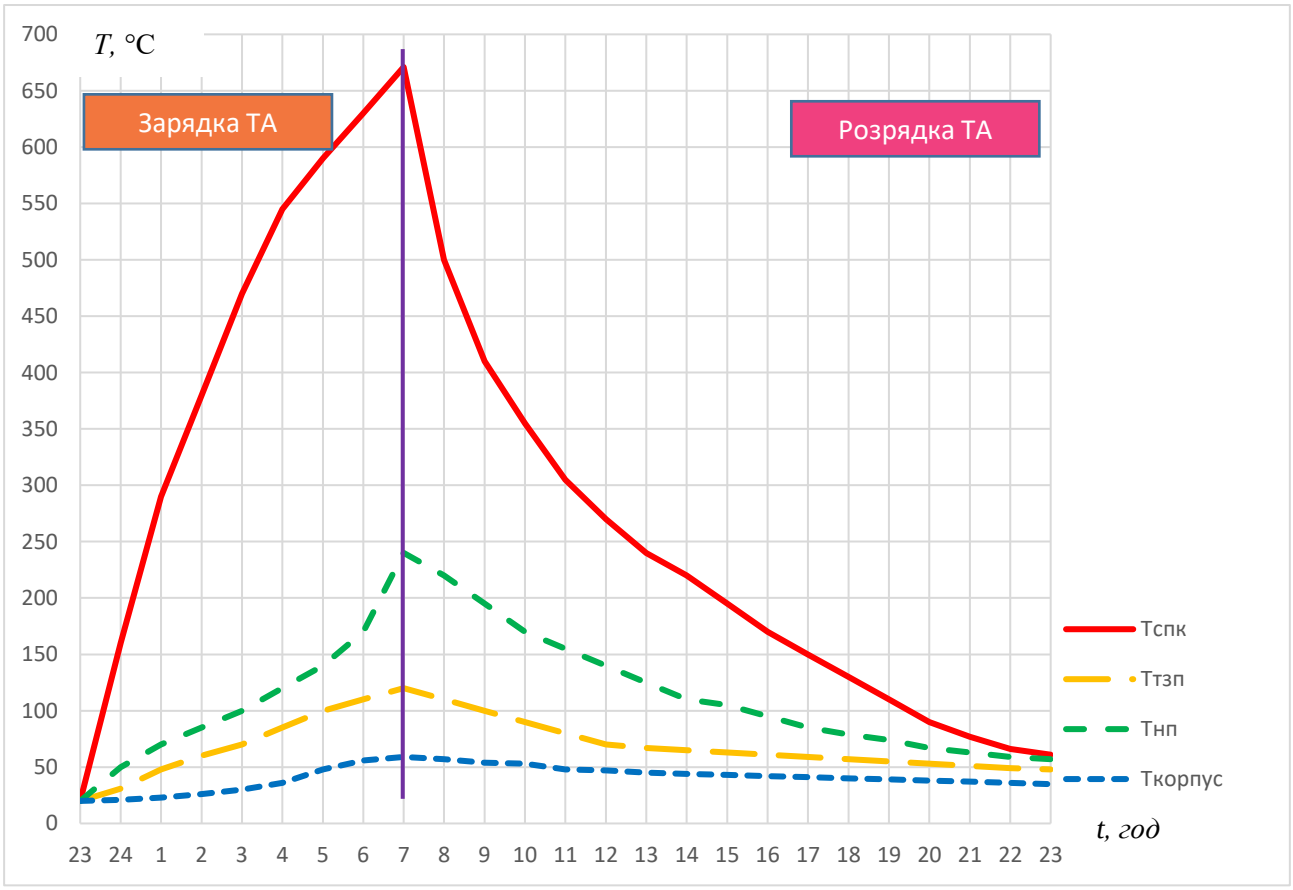


Рисунок 3.8 - Теплообмінних процесів у теплоакумулюючому елементі з магнезиту.

В результаті чисельного моделювання теплових процесів у теплоакумулюючому елементі ЕТА з магнезиту отримано кінцевий розподіл температурних полів наприкінці періоду віддачі теплоти (див. рис. 3.9).

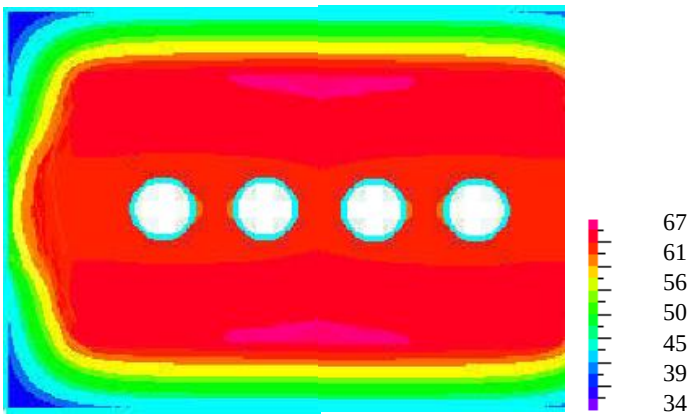


Рисунок 3.9 – Кінцевий розподіл температури теплоакумулятора з магнезиту в кінці періоду віддачі теплоти

Також отримані результати математичного моделювання теплообмінних процесів у теплоакумулюючому елементі з шамоту запропонованої конструкції при заданих умовах протягом періоду заряду та віддачі тепла в добовому циклі наведено на рис. 3.10.

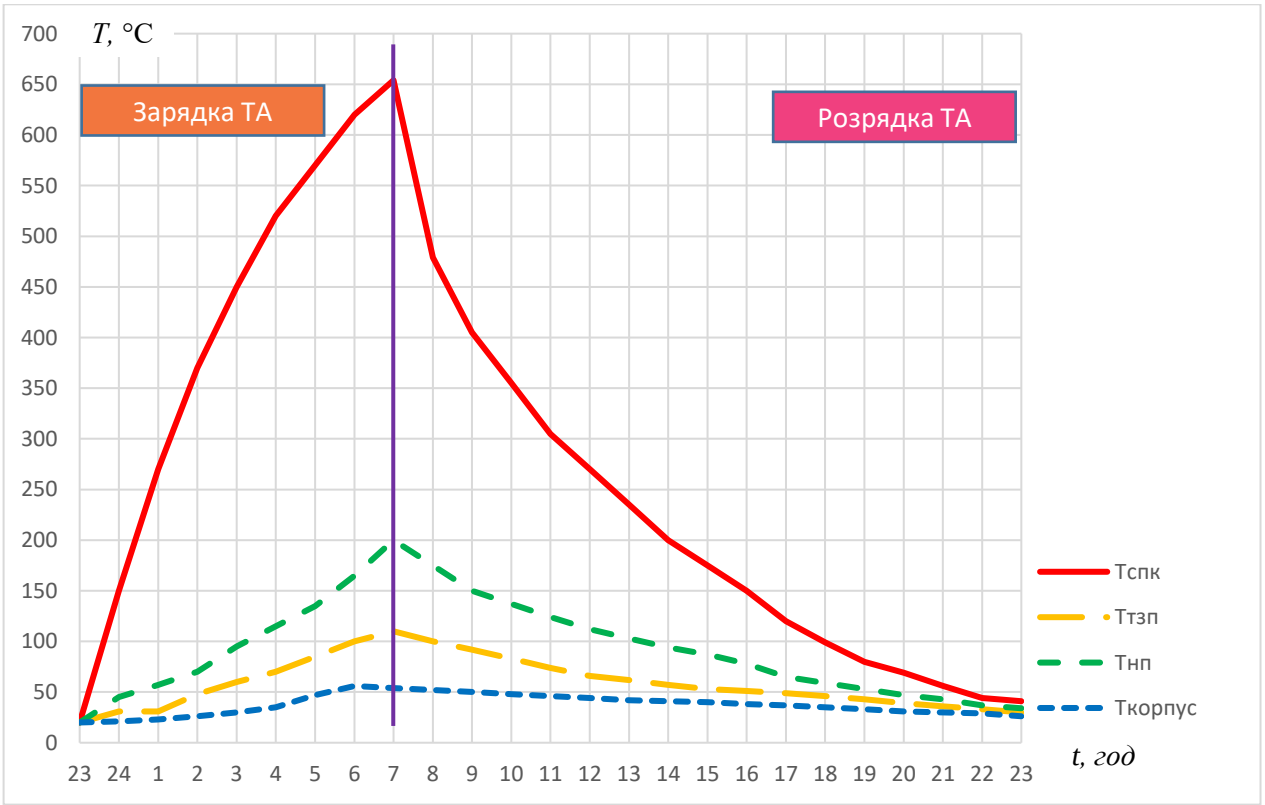


Рисунок 3.10 – Кінцевий розподіл температури теплоакумулятора з шамоту в кінці періоду віддачі теплоти

В результаті чисельного моделювання теплових процесів у теплоакумулюючому елементі ЕТА з шамоту отримано кінцевий розподіл температурних полів наприкінці періоду віддачі теплоти (див. рис. 3.11).

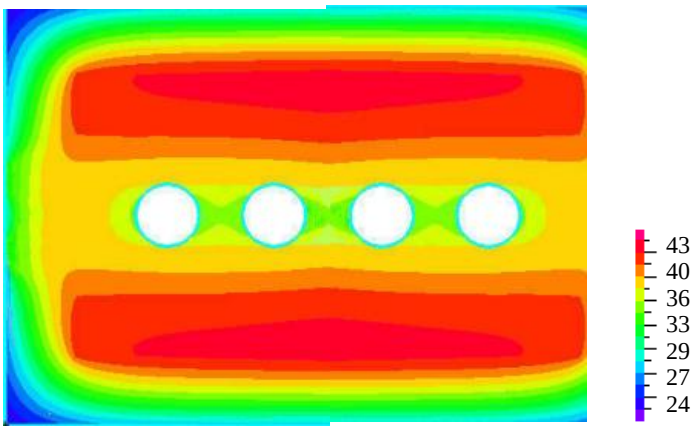


Рисунок 3.11 – Кінцевий розподіл температури теплоакумулятора з шамоту в кінці періоду віддачі теплоти

3.6 Розрахунок і вибір системи опалення приміщення

Найпростішим способом вибору є розрахунок потужність котла для опалювання будинку можна по його площі. Використовують при цьому формулу:

$$W_{кот} = (S \cdot W_{шт} / 10) \cdot к_в = 184{,}5 \cdot 1/10 \cdot 1{,}0 = 18{,}45 \text{ кВт} \qquad (3.11)$$

де: $W_{кот}$ - розрахункова потужність системи опалення, кВт; S - загальна площа опалювального приміщення, м^2.; $W_{пит}$ - питома потужність системи опалення, яка доводиться на кожні 10 м^2 опалювальній площі складає 1 кВт; $к_в$ - коригувальний коефіцієнт по висоті приміщення.

Для більш точнішого вибору опалювального приладу необхідно враховувати цілий ряд параметрів, а саме: географічне місце розташування об’єкта, зимові температури зовнішні та бажані внутрішні, розміри будівлі, його етажність, перекриття, матеріал стін та вікон, наявність вентиляції та ГВП та інше. На даний момент існують різні методики розрахунків з обов’язковим врахуванням СНіП, наприклад СНіП 23-02-2003 «Тепловий захист будівель».

В останній час, з впровадження енергоаудитів об’єктів будівництва, широкого використання набули спеціалізовані програми та онлайн калькулятори. Один з яких можна використати для нашого житлового приміщення [23].

Задаємося вихідними даними [24]:

Виберіть країну:	Україна;
Середня температура на вулиці в саму холодну п’ятиденку року, °С.	- 22,0;
Виберіть місто:	Кропивницький;
Бажана температура в приміщені, °С	+ 18,0;
Нагрів гарячої води від котла:	не передбачено;
Наявність вентиляції:	наявна;
Кількість поверхів:	1,0;
Висота поверхів (сума), м:	2,750;
Довжина будинку, м:	21,0;
Ширина будинку, м:	9,0;
Перекриття вище:	наступний поверх;
Перекриття нижче:	фундамент;
Матеріал і товщина зовнішніх стін:	цегляна стіна на 2,5 шт.;
Тип вікон:	двокамерний склопакет 4-8-4-8-4;
Площа усіх вікон, м^2:	14,850;
Наявність басейну:	відсутній.

В результаті розрахунку отримали дані:

Площа стін, м^2	162,0
Площа стін без вікон, м2	147,0
Площа стелі, м^2	185,0
Площа підлоги, м^2	185,0
Тепловтрати вікон, кВт	1,30

Тепловтрати стін, кВт	12,00
Тепловтрати стелі, кВт	0,90
Тепловтрати підлоги, кВт	2,10
Загальні тепловтрати, кВт	15,40

Загальна наближена потужність системи опалення складає 18,450 кВт.

Проводячи аналіз модельному ряду потужності обігрівачів вибираємо теплоаккумуляційний обігрівач Dnipro AET-C 3.0. Номінальна потужність – 3,0 кВт, напруга – 220 В, струм 13,640 А, вага – 64,0 кг, площа приміщення (з врахуванням q = 100 Вт/м^2) 30 м^2, споживання в середньому за добу – 18,0 кВт/год.

Враховуючи, що загальна площа опалювального приміщення складає 184,5 м^2, а потужність одного обігрівача становить 3 кВт на опалювальну площу 30 м^2 то можемо визначити загальну кількість необхідних обігрівачів:

$$n = \frac{S_{об'єкту}}{S_{обігрівача}} = \frac{184,5}{30} = 6,1 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 6 електротеплових обігрівачів.

3.7 Висновки

Акумулювання теплової енергії базується на використанні хімічних та/або фізичних процесів виділення та поглинання теплоти. Це процеси з накопичення та виділення теплової енергії в процесі нагрівання та охолодження рідких та твердих тіл, фазові переходи та хімічні реакції з поглинанням-виділенням теплоти.

Використання твердих теплоакумулюючих речовин забезпечує максимальну простоту конструкції, економічність та високий рівень робочих температур хоча і вимагає великих мас цих речовин. Основними характеристиками для твердих ТАМ є теплопровідність, питома теплоємність та температуропровідність.

Був проведений аналіз та вибрана енергоефективна схема теплоакумулюючого елемента з чотирма каналами круглого перерізу, з визначенням тепловіддачі від стінки каналу до потоку нагрітого повітря

Була сформована математична модель для вибору раціональних режимів ЕТА. За допомогою якої можливо розрахувати теплове поле теплоакумулюючого елемента, який дозволить визначити температуру повітря на виході з ЕТА, його теплову потужність з урахуванням теплових втрат ЕТА та впливу зовнішніх кліматичних параметрів.

В результаті проведених аналітичних досліджень динамічних характеристик ЕТА отримано дані про розподіл температур у теплоакумулюючих елементах з магнезиту та шамоту протягом періоду заряду та віддачі теплоти, а також значення температури повітря в каналах теплоакумулюючих елементів та на виході з ЕТА та розподіл температури в товщі теплової ізоляції ЕТА .

Тому вибираючи вид теплоакумулюючих матеріалів, його геометричні розміри, потужність нагріваючих елементів та ізоляційний матеріал, ми можемо визначити при циклі заряду-розряду та регулювати температуру до якої буде нагріватися та остивати ТАМ та значення її при подачі в приміщення.

Розділ 4. Розробка стартап-проекту з впровадження системи опалення з електротеплоакумуляційним нагрівом

4.1 Опис ідеї проекту

Дання методика набула широкого впровадження під час виконання магістерських робіт і детально описана в роботі [24]. Її використання гармонійно ляже в основу розробки даної роботи та набуття професійних навиків майбутнім енергоменеджерам.

Зростання цін на природний газ та на електричну енергію, а також інші енергоносії створює передумови для використання та впровадження електроенергії замість органічних та неорганічних енергоносіїв для опалення.

Широке впровадження замість твердопаливних котлів на електричні спонукає витіснення газової складової у теплопостачанні.

На перехід до електроопалення існує заохочення споживачів, для використання електроенергії коли в графіках електричних навантажень існують суттєві мінімуми і зменшення використання її в години максимумів. Для цього впровадили диференційовані тарифи за періодами доби, наприклад споживання електроенергії в ночі в два рази дешевші ніж на протязі доби.

Впроваджене обладнання ТА електронагріву для опаленні наддасть змогу іще далі відійти від використання природних та вуглеводневих видів палива. Вартість 1 Гкал тепла, одержаного за допомогою ЕТА нагрівача нижче, ніж при використанні твердопаливного або газового котла.

Теплоакумуляційні електронагрівачі побудовані на базі твердих матеріалів паралельно розроблялися як альтернатива резистивним, електродним та індукційним джерелам тепла.

Основи опису ідеї стартап-проекту приведено в таблиці 4.1.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Проводячи технологічний аудит необхідно провести аудит технологічних напрямків для реалізації ідеї даного стартап-проекту, шляхи його реалізації, технологічну та технічну доступність в реалізації. [24]

Таблиця 4.1 Ідея стартапу.

Зміст проекту ідеї	Шляхи застосування	Вигода
а) використання електричної енергії як первинного продукту для тепловиробництва; б) за рахунок теплоакумуляції електронагрівачі працюють в нічні години дешевої електроенергії; в) даний ЕТА спосіб один із найбільш надійних, енергоефективних та безпечних; г) споживача цікавить закінчене технічне рішення проекту; г) застосування методик WEB та АСМУ системи моніторингу; д) можливість об'єднати в єдину систему опалення (багатоквартирний будинок, адмінбудівлі, школа, садок)	а) для опалення приміщень; б) вирівнювання та регулювання графіка навантаження; в) балансування г) резервування.	а) енергоефективність; б) універсальність; в) довговічність; г) електробезпеки; д) простота монтажу і обслуговування; є)автоматичне управління.

Для визначення технологічної здійсненності ідеї проекту необхідно провести детальний аналіз його складових (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Реалізація технологій	Існування технологій	Доступність та реалізація технологій
Використання електричної енергії як первинний вид продукту	Принципи ЕТА нагріву	наявна	Доступна, є технології та технічні рішення
	Отримання споживачем дешевшої чим на ринку теплової енергії	загалом наявна	Доступна, с програмні реалізації

4.3 Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

Згідно з постановами НКРЕКП фіксовані ціни на електричну енергію для побутових споживачів з 01.10.2021 (*опубліковано 04 травня 2022 року о 15:24*) місячний обсяг споживання понад 250 кВт·год становить 1,68 грн./ кВт. год. (з ПДВ) [25].

За наявності обліку споживання електричної енергії за періодами часу розрахунки споживачів, зазначених у підпункті 1 пункту 2, проводяться за фіксованою ціною на електричну енергію, визначеною пунктом 1, із застосуванням таких коефіцієнтів (за вибором споживача):

1) за періодами часу за двозонним диференціюванням :

- (з 23:00 до 7:00 години) 0,5 фіксованої ціни в години нічного навантаження (мінімального) енергосистеми;
- (з 7:00 години до 23:00) повна фіксована ціна;

2) за тризонним диференціюванням за періодами часу:

- (з 8:00 до 11:00 години і з 20:00 до 22:00 години) 1,5 фіксованої ціни в години навантаження (максимального) енергосистеми;
- (з 7:00 до 8:00 години, з 11:00 до 20:00 години, з 22:00 до 23:00 години) у напівпіковий період повна фіксована ціна;
- (з 23:00 до 7:00 години) 0,4 фіксованої ціни в години нічного навантаження (мінімального) енергосистеми.

Далі показано порівняльний розрахунок вартості одиниці тепла в табл. 4.3., з урахуванням ситуації витрат; вартості оглядів, сезонного обслуговування; зарплати персоналу, технічного обслуговування та ремонтів [25].

Для забезпечення теплом приміщень та будівель пропонується впровадження рішення у вигляді електротеплоакумуляційного нагріву. Для будівлі в якій встановлено електричні теплоакумуляційні нагрівачі були прийняті інші наступні вихідні дані в табл. 4.4.

Таблиця 4.3 Порівняльний розрахунок вартості одиниці тепла

Вид нагрівача (генератора тепла)	Джерело тепла (вид тарифу)	Вимір. од.	Вартість первинного продукту, грн.	Перевідний коефіцієнт 1 Гкал теплової енергії	Собівартість 1 Гкал теплової енергії для споживачів у грн. з ПДВ
Електричний нагрівач	двозонний, 2 клас напруги, 8 годин в ночі	кВт·год	1,68·0,5=0,84	407,0	410,250
Електричний нагрівач	недиференційований	кВт·год	1,680	407,0	820,510
Газовий котел	автономна котельня	$м^3$	5,73937	123,0	844,130
Дерев’яний коте.	автономна котельня	$м^3$	1400,0	0,540	907,20
Вугільний котел	автономна котельня	т	5600,0	0,191	1283,520

Таблиця 4.4 Вихідні дані

№	Показники, розмірність	Величина	Джерело інформації
1	Опалювальна площа всієї будівлі, кв. м.	185,0	з планів будівлі
2.	Будівельний об'єм, $м^3$	519,75	
3	Температура, для розрахунку теплових потреб.℃ Назовні у приміщені	 -22 +18	Норматив
4	Прийнятий в розрахунках тариф на ел. енергію (роздрібний/нічний) за опалювальний сезон 2022р, грн./кВт·год	1,68 / 0,84	постанови НКРЕ КП
5	Тривалість нічного тарану, годин	8,0	
6	Прийняте щорічне зростання вартості ел. енергії	4-5%/рік	припущення
7	Прийнятий в розрахунках тариф ЦТП, грн./Гкал	2137,810	припущення
8	Прийняте в розрахунках тариф на холодну воду в цінах 2021 р.грн./$м^3$	21,250	припущення

Аналіз можливих теплових навантажень на опалювання об'єкту виконано на підставі наявної інформації за розмірами і будівельними об'ємами,

необхідному допустимому мінімальному опору теплопередачі зовнішніх захисних конструкцій будівель, а також на основі показників питомих теплових характеристик для опалювання.

За початкові дані взяті наступні параметри максимальної години витрат тепла на опалювання визначалася за формулою, ккал/год:

$$Q_o^n = q_o \cdot a \cdot (t_{вн} - t_{po}) \cdot V \cdot (1 + k_{інф}),$$

де q_o- питома теплова характеристика для опалювання, ккал/м^3.год ·˚С; a - коефіцієнт, що враховує зміну питомої теплової характеристики залежно від розрахункової температури зовнішнього повітря (для t_{po} =20, а = 1,11); V- будівельний об'єм; $\kappa_{інф}$ - розрахунковий коефіцієнт інфільтрації, обумовленої тепловим і вітровим натиском, тобто співвідношення теплових втрат будівлею і інфільтрацією і теплопередачою через зовнішні огорожі при температурі зовнішнього повітря, розрахунковій для проектуванні опалювання.

Розрахункова потужність для опалення 18,3 кВт. Розрахункова величина річних потреб в тепловій енергії на опаленні з урахуванням тепло надходжень розрахована, склала 20,13 Гкал/рік з терморегулюванням.

В табл. 4.5 наведено розрахунок річних втрат будівлі на опалення з урахуванням прийнятих теплових навантажень та інших даних зазначених у табл. 4.4. Дані розрахунки показують результати встановлення електро-обігрівачів теплоакумуляційного нагріву в побутовій будівлі в мережі 0.4 кВ.

Таблиця 4.5 Результати розрахунків

Кількість діб у річному періоді	Середньодобова зовнішня температура повітря, °С	Витрата теплоенергії за встановлений період, Гкал
163,0	більше 10,0	0,640
10,0	10,0	0,530
10,0	9,0	0,580
23,0	8,0	1,420
18,0	7,0	1,20
14,0	6,0	1,010
12,0	5,0	0,920

Продовження таблиці 4.5

11,0	4,0	0,930
9,0	3,0	0,780
13,0	2,0	1,280
7,0	1,0	0,680
6,0	0	0,620
11,0	-1,0	1,160
4,0	-2,0	0,450
5,0	-3,0	0,580
4,0	-4,0	0,490
10,0	-5,0	1,240
4,0	-6,0	0,530
4,0	-7,0	0,540
5,0	-8,0	0,680
3,0	-9,0	0,440
3,0	-10,0	0,450
3,0	-11,0	0,470
2,0	-12,0	0,330
2,0	-13,0	0,340
1,0	-14,0	0,180
1,0	-15,0	0,190
1,0	-16,0	0,195
1,0	-17,0	0,200
1,0	-18,0	0,205
1,0	-19,0	0,210
1,0	-20,0	0,2150
1,0	-21,0	0,220
1,0	-22,0	0,225
365		**20,130**

Як показали розрахунки, оптимальною з економічної точки зору, з врахуванням нічного тарифу та акумуляції тепла, є потужність системи обігріву у 18,0 кВт. При вищих, ніж розрахункові, зовнішніх температурах восьми годин роботи ETA нагрівача потужністю 18 кВт вночі вистачає для обігріву будівлі і накопичення тепла в ТА до початку дії нічного тарифу. При нижчих ніж -22,0°С температурах - доведеться споживати електроенергію вдень за повним тарифом

(або зменшувати відпуск вузлом тепла і температуру приміщень).

Така система у споживала (чи її власника або керуючого) також ϵ потужним інструментом заробітку при роботі на майбутньому, енергоринку, приймаючи участь у нових його сегментах (внутрішньодобовому. балансуючому, надання системних послуг, тощо) та вступаючи в так звані «балансуючі групи» з іншими споживачами, постачальникам чи виробниками. Середньозважена ціна спожитої електроенергії в окремі періоди (не обов'язково нічні) може знижуватися практично до нуля, не перевищить 10% від загального.

4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Проводячи аналіз проекту можна привести фактори загроз, а також запропонувати можливі варіанти їх рішення які приведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор загрози	Зміст можливої загрози	Можлива реакція компанії на загрозу
1	Зростання тарифів на електроенергію	Можливе збільшення тарифів на електроенергію може зробити невигідним використання ЕТА	Показати потенційним покупцям, що ціни на первинні енергоносії (газ, пелети, вугілля, дрова) теж зростають
2	Зменшення нічного коефіцієнту	Зараз для побутових споживачів 0,5	Показати потенційним покупцям, що тепло і електроенергії вигідно і за цим коефіцієнтам, що можна заробляли і на наданні ЕС послуг з регулювання
3	Зміна моделі і правил енергоринку	Вільний вибір контрагентів та забезпечення права споживача вільно обирати постачальника електричної енергії	Показати потенційним покупцям, що ціни на первинні енергоносії теж зростають, з’являються можливості економії і заробітку в новій моделі енергоринку

Далі привести данні по представленим колом конкурентів, як у проектних рішеннях та аналогів технічної продукції, що існують вже на ринку. Потім провести широкий збір інформації щодо реальних значень техніко-економічних показників, як для власної ідеї проекту та і конкурентів табл. 4.7.

Був складений SWOT-аналіз (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troublez) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін і результати зведений в табл. 4.8.

Таблиця 4.7 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї		Газова котельня	ТЕНові	Електродні (іонні)	Кавітаційні (гідродинамічні)	Технологія індукційні нагрівачі	ЕТА нагрівач	Тепловий насос
Первинні інвестиції		120,0%	100,0%	120-150%	від 300,0%	250%-300%	100,0%	від 400,0%
Високо кваліфікований монтаж		+	-	+	+	+	-	++
строк служби		до 10,0 років	до 10,0 років	до 20,0 років	від 15,0 років	від 30,0 років	до 20,0 років	до 20,0 років
Необхідність заміни основних частин		кожні 2,0 роки	ТЕНи-кожні 3,0 роки	електроди - кожні 2,0 роки	Підшипники кожні 2,0 роки	відсутні	відсутні	долив енергоносія заміна запчастин
необхідність підготовки теплоносія та хімічного аналізу		так	так	так, потрібен постійний хім. аналіз	ні	ні	ні	так потрібен постійний хім. аналіз
Вимоги до персоналу	нагляд	високі	високі	високі	середні	середні	середні	високі
	обслуговування	високі			високі	не потрібен	не потрібен	не потрібен
Ризики зупинки		так	так	так	середні	мінімальні	мінімальні	мінімальні
універсальність		-	+	-	-	+	-	-
пожежна безпека		низька	низька	низька	висока	висока	середня	висока

Таблиця 4.8 SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: а) надійність; б) найкращі показники економічної ефективності; в) хороші показники ККД	слабкі сторони: а) капіталовкладення; б) невелика потужність (до 5,0 кВт).
Можливості: а) ЕТА нагрівачі дають змогу зменшити вартість і витрати електричної енергії, за рахунок споживання нічної пільгоаої електричної енергії	загрози: а) можлива відсутність нічної потужності на деяких КТП 10/0.38 кВ; б) зростання тарифів на електроенергію; в) зменшення нічного коефіцієнту; г) зміна правил енергоринку.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо загальну маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. У табл. 4.9 наведені результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.9 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити
У використанні електроенергії в якості первинного продукту для виробництва тепла за рахунок твердотільних матеріалів теплоакумуляції електронагрівачів, які працюють в нічні години дешевої електроенергії	а) енергоефектність; б) довговічність; в) універсальність; г) пожежна безпека; ґ) електробезпеки; д) простота монтажу і обслуговування; е) автоматичне управління;	а) строк служби обладнання 20 років; б) відсутні спеціальні вимоги до приміщень; в) відсутність фактору обмеження довговічності; г) знижені експлуатаційні витрати при відсутності нагляду після монтажу; є) можливість встановлення у будь-якому місці

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.10).

Таблиця 4.10 Опис трьох рівнів моделі товару

<table>
<tr><td>Рівні товару</td><td colspan="3">Сутність та складові</td></tr>
<tr><td>1. Товар за задумом:
пристрій перетворення електро енергії в тепло з використанням теплоакумуля-ційного методу я найбільш надійний, безпечний, енергоефективний</td><td colspan="3">Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди:
Виробництво теплової енергії за рахунок електронагрівачів теплоакумуляційного типу з подальшою теплоакумуляцією її в нічні години дешевої електроенергії та тепловіддачею в систему опалення на протязі опалювального сезону</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2. Товар у реальному виконанні:
Електротеплоакумуляційний нагрівач</td><td>Властивості/характеристики</td><td>одиниця</td><td>значення</td></tr>
<tr><td>1. Потужність
2. Номінальна напруга
3. Струм фази
4. Габарити
5. Вага</td><td>кВт
В
А
Мм
кг</td><td>3,0
220
13,640
670х1240х255
150,0</td></tr>
<tr><td colspan="3">Якість: патент; декларація на відповідність; сертифікація</td></tr>
<tr><td colspan="3">Пакування: відповідно встановлених норм та правил</td></tr>
<tr><td colspan="3">Марка: АЕТ-С-3.0-220-УХЛ4</td></tr>
<tr><td>3. Товар із підкріпленням</td><td colspan="3">До продажу: · прояв особистої уваги до покупця,
· надання кредиту покупцю за необхідності.
Після продажу: безкоштовна доставка;
· встановлення та/або монтаж;
· гарантія повернення грошей і обміну товара;
· навчання персоналу, що обслуговує покупця;
· післягарантійне обслуговування, забезпечення запасними частинами і т.д.</td></tr>
</table>

Після того як ми сформували маркетингову модель товару, відмічаємо, проект буде захищено від копіювання відповідним патентом на винахід. Захист організовано за рахунок захисту інтелектуальної власності а саме патенту, декларація на відповідність та сертифікації відповідного електронагрівача, та

комплексне поєднання властивостей і характеристик, які закладені на другому та третьому рівнях товару.

Потім визначаємо цінову межу, якою будемо керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замінники	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	12,0-13,0 тис. грн	15,0-16,0 тис.грн	10,0-11,0 тис.грн

Потім визначаємо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.12):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);

- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;

- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.12 Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	На сьогоднішній день споживачі купують продукт у одиничних виробників, безпосередньо у науково-дослідницьких інститутах або ж розробляють власну продукцію	Збут продукції відбувається шляхом виставлення продукції на спеціальних виставках	Збут продукції відбувається шляхом виставлення продукції на спеціальних виставках	Збут продукції відбувається шляхом виставлення продукції через мережу інтернет та на спеціальних виставках

І останньою складовою нашої маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти дізнаються про нові продукції з наукових публікацій та патентів, з сайту розробника, по рекомендаціях та наукових виставок	Конференції та виставки, Інтернет	SMM, контент-маркетинг	Представлення товару, його позиціювання з метою залучення клієнтів	«Надійність, продуктивність та якість – запорука Вашого успіху!»

Концепція маркетингових комунікацій показав, для того щоб популяризувати власну продукцію, а саме теплоакумуляційний електронагрівач необхідно показувати продукцію на виставках, рекламувати та представляти в мережі інтернет та інтернет магазинах, а також необхідно мати власний сайт. Завданням рекламного повідомлення має стати представлення товару відповідній аудиторії (споживачам-підприємств).

4.6 Висновок

Розроблено стартап-проект для просування на ринку продажу обігрівачів ЕТА нагріву. Виконано опис, технічний аудит та фінансово- економічний аналіз. Основні переваги обігрівачів ЕТА перед іншими видами нагрівачів, це великий ККД, значні показники економічної ефективності, можливість об'єднання в єдину систему керування, вузли повністю автоматизовані, зменшення вартості і витрат електричної енергії, дана установка може виконувати функції заповнювача нічного провалу енергосистеми. В той же час обігрівачів ЕТА мають і ряд недоліків: високі питомі капіталовкладення, залежність від тарифів на електроенергію і невелика потужність як для регулювання добового графіка навантаження. Впровадження обігрівачів ЕТА є доцільно та вигідно в обраному приміщені.

Загальні висновки

Сучасний стан застосування електричної енергії для теплопостачання перебуває у фазі швидкого розвитку. Існує широкий спектр засобів електроопалення, кожен із видів опалення характеризується комплексом технічних, економічних показників, споживчих характеристик.

Електроопалення не є найбільш витратним видом опалення, а з врахуванням високих споживчих дозволить організувати системне впровадження індивідуального поквартирного теплозабезпечення.

Одним із основних напрямків застосування електричної енергії для теплопостачання в Україні можна вважати електротеплоакумуляційне електроопалення. Розвиток електротеплоакумуляційного обігріву дозволяє зменшити витрати на запуски та зупинки маневрових енергоблоків, тобто підвищити коефіцієнти використання електрогенеруючих потужностей та ущільнити графік навантаження ОЕС.

Існуюча система генеруючих потужностей ОЕС України з точки зору забезпечення ефективного регулювання потужності в енергосистемі не є оптимальною.

В результаті огляду сучасного стану і структури потужностей генерації і споживання електричної енергії в ОЕС України були виявлені труднощі пов’язані із ефективним покриттям добових графіків електричних навантажень і недостатнім значенням величини доступної маневреної потужності в енергосистемі України.

Нестача маневрових потужностей в Україні призводить до необхідності використання великих теплових енергоблоків для регулювання добових графіків електричного навантаження, що нераціонально з точки зору як втрати експлуатаційного ресурсу блоків так і використання первинних енергоресурсів.

Аналіз графіків навантаження енергетичної системи України показує, що існують великі провали навантаження вночі, що вимагає їх заповнення з погляду економії енергоресурсів. Одним з таких способів заповнення графіка є

застосування електричної енергії для електроопалення, у тому числі шляхом її електротеплоакумуляції енергії.

Подальший розвиток використання нових енергоефективних способів і технічних засобів ущільнення графіків навантаження ОЕС є одним із актуальних завдань електроенергетики України. З огляду на капітальні і експлуатаційні витрати, особливості енергобалансу країни, високий рівень керованості, комфортності і екологічності, впровадження електротеплоакумуляційного обігріву техніко-економічно є обґрунтованим.

Був проведений розрахунок і вибір системи опалення на основі електротеплоакумуляційного обігріву, впровадження якого дозволяє скоротити терміни проектування і підбирання обладнання, доставки, монтажу, підключення до електричної та теплової мереж будівлі, досягнути найкращих техніко-економічних показників в процесі експлуатації

Дану систему електроопалення пропоную використати в якості споживача-регуляторів ДНГ нічної зони. В умовах дії тарифів на електроенергію, диференційованих за часом доби, для підключення твердотільних ЕТА обігрівачів , працюючих в зоні дії нічного тарифу, в більшості випадків не потребує збільшувати під’єднану електричну потужність, а собівартості вироблених ними тепла і гарячої води будуть низькими.

Розроблено стартап-проект для просування на ринку продажу твердотільних ЕТА обігрівачів. Виконано опис, технічний аудит та фінансово-економічний аналіз. Визначені його основні переваги і недоліки. Впровадження твердотільних ЕТА обігрівачів є доцільним та вигідним в обраному приміщені.

Проведені техніко-економічні розрахунки показали, система опалення з використанням електричних теплоакумуляторів, має мінімальні еквівалентні річні витрати та в даному випадку є кращим варіантом теплопостачання для представленого житлового будинку.

Перелік посилань

1. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings. // Official Journal, 4.1.2003, pp. 65-70 (Директива 2002/91/ЕС по энергетической эффективности зданий, перевод см. АВОК, № 1,2003.)
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. // Відомості Міністерства палива та енергетики України, Інформ.-аналіт.бюлетень МПЕ. Спецвипуск. - К.: МПЕ, 2006,-114 с.
3. Енергоощадна технологія елекгротеплоакумуляційного обігріву в житлово-комунальному та аграрно-промисловому комплексах України. Відповідальний редактор к. т. н. Д. Й. Розинський - К: Видавництво Купріянова О.О. - 2007. - 272 с.
4. Стафийчук В.Г., Ревуцкий С.С. Нормативное обеспечение расчетов электрических сетей при использовании электроэнергии для отопления жилья. // Электрические сети и системы. - 2003. - № 2. - С. 49-52.
5. Симонов А.А. Бытовое электрическое отопление с аккумулированием тепла - важнейший фактор эффективного использования электроэнергии //Энергетика и электрификация. - 1992. - № 1. - с. 26-30.
6. Національна енергетична компанія «Укренерго». https://ua.energy/uchasnikam_rinku/
7. Меженный С.Я., Ревуцкий С.С., Стафийчук В.Г. Учет электрическиих нагрузок отопления и горячего водоснабжения при проектировании сельских электрических сетей 0,36-110 кВ. //Энергетика и электрификация. - 1991. - № 4.
8. Буц А.Н., Ревуцкий С.С., Стафийчук В.Г. Использование потребителей-регуляторов для выравнивания сельских электрических сетей. // Серия: Сооруже-ние линий электропередач и подстанций. Вып. 6. - М.: Информэлектро, 1989. -52 с.
9. Симонов А.А. Бытовое электрическое отопление с аккумулированием тепла

- важнейший фактор эффективного использования электроэнергии //Энергетика и электрификация. - 1992. - № 1. - с. 26-30.

10. Пшеничников В. М. Использование электроэнергии для отопления. // Энергосбережение. - 2004. - № 2. - С. 68-72.
11. С.В. Овчаров, Р.В. Телюта, А.В. Буряк. Розробка технічного засобу перетворення електричної енергії в теплову на принципі «котушка в сталі». Збірник наукових праць КНТУ /Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ – Вип. 25. Ч 2. Кіровоград: КНТУ, 2012. С. 114 – 121.
12. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. Киев: Техника, 1991. 112 с.
13. Россихин Н. А. Расчет и проектирование аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа): методические указания. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 35 с.
14. Будлянский С.В., Редько А.Ф., Чайка Ю.И. Сравнение теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом для систем солнечного теплоснабжения. Энергосберегающие технологии теплогазоснабжения, строительства и муниципальной инфраструктуры: материалы конференции. Харьков, 2013. URL: http://eprints.kname.edu.ua/38329/ (дата обращения: 19.05.2014).
15. Hasnain S.M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques. Energy Conversion and Management. 1998. Vol. 39, No. 11. P. 1127–1138. DOI: 10.1016/S0196-8904(98)00025-9.
16. Лазебник О. М. Досвід впровадження електротеплопостачання на базі електроакумуляційних технологій на Житомирщині // Нова Тема. – 2009. – № 2. – С. 53–54.
17. Левенберг В.Д. Аккумулирование тепла / Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. – Киев: Техніка, 1991. 112с
18. Бекман У.А., Клейн С., Даффи Дж. А. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 79 с.

19. Хименко А.В. Расчетное и экспериментальное исследование тепловых процессов в твердом теплоаккумулирующем материале с высокими теплоаккумулирующими свойствами / А.В. Хименко //Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016.– №10 (1182). – С. 44-49. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X. – doi:10.20998/2078-774X.2016.10.06.
20. Хименко А.В. Исследование динамических характеристик электротепловых аккумуляторов / А.В.Хименко // Відновлювана енергетика. – 2016. – №2 (45). – С. 22-26. – ISSN 1819-8058.
21. Хіменко О.В. Оцінка ефективності акумулювання теплоти твердими теплоакумулюючими елементами електротеплового акумулятора / О. В. Хіменко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – Л.: НУ "Львівська політехніка", 2016. –№844. – С. 210-215. – ISSN 0321-0499.
22. Тарасова В.А. Выбор рациональных геометрических параметров элемента электрического теплового аккумулятора / В.А. Тарасова, А.В. Хименко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – №13 (987). – С. 110-115. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2078-774X.
23. Расчет котла отопления частного дома — онлайн калькулятор мощности котла (https://kermi-fko.ru/raschety/raschet-kotla-otopleniya.aspx)
24. Розроблення стартап-проекту: «Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей»/За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ» 2016. – 28 с.
25. https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/naselennya/cini-ta-tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-pobutovih-spozhivachiv-naselennya-v-ukrayini/fiksovani-cini-na-elektrichnu-energiyu-dlya-pobutovih-spozhivachiv-z-1-zhovtnya-2021-roku
26. Апарат електроопалювальний теплоакумуляційний АЕТ- С. Керівництво до експлуатації. Дніпро. 15 с.

27. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с
28. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С, Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького. - Львів, Афіша, 2000 - 352 с.
29. 1. Верба В.А., Загородніх О.А. Проектний аналіз: Підручник. К.: КНЕУ, 2000. 322 с.
30. Мацевитый Ю.М. Оценка энергетической эффективности систем электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий / Ю.М. Мацевитый, Н.Г. Ганжа, А.В. Хименко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – №10. – С. 9-16. – ISSN 2218-1849.

Додаток А.

А. Охорона праці

А1. Охорона праці при монтажі та експлуатації електрообігрівача

Монтаж апаратів повинен здійснювати спеціально навчений персонал, що дотримується вимог «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕ) і «Правила улаштування електроустановок» (ПУЕ). Забороняється виконувати монтаж апаратів при включених ланцюгах електроживлення.

Перед першим включенням електроживлення на апарати після збирання, переконаєтеся у відсутності пошкоджень, які загрожують життю і здоров'ю. Перевірте цілісність захисних заземлюючих провідників і надійність їх контактів із затискачами захисного заземлення.

Забороняється встановлення і експлуатація апаратів поблизу легкозаймистих (меблі, штори тощо) і вибухонебезпечних матеріалів та предметів. Мінімальна відстань, яку необхідно витримувати при цьому – 0,5 м.

Забороняється накривати корпус АЕТ-С [26], закривати входи і виходи потоків повітря. Не розміщувати сторонні предмети впритул до апарату. Забороняється ставити або класти на апарат взуття, одяг тощо.

Для електроживлення апаратів споживачем прокладається окрема лінія з автоматичним вимикачем на вході (двополюсний - для однофазного підключення), багатотарифним електролічильником та таймером. Підключення апарату виконують фахівці згідно принципової електричної схеми та наступних рекомендацій. Встановлення апаратів, їх підключення до електромережі, налаштуванні повинен виконувати кваліфікований спеціально навчений і атестований персонал спеціалізованої організації з дотриманням всіх правил безпеки при монтажі і випробуванні.

Вибрати місця встановлення АЕТ-С (або встановити їх згідно виконаного проекту). У місцях встановлення апаратів необхідно вирівняти підлогу, уникати нерівностей в килимових і плиткових покриттях, частково розміщених під апаратами. Не встановлювати апарати під стаціонарними електророзетками.

Підключення до захисного заземлення обов'язкове.

Перед встановленням необхідно виконати усі вимоги фахівців енергозабезпечуючої організації і отримати дозвіл на підключення апарату до електромережі.

Поставити апарат до стіни на підготовлене місце, намітити кріплення двох кронштейнів під обмежуючі упори (відстані між осями кронштейнів по горизонталі та вертикалі - відповідно кронштейнам на задній стінці). Закріпити кронштейни на стіні, відсунувши обігрівач (чотири дюбелі d = 4 мм). Упори забезпечують необхідний проміжок між задньою стінкою АЕТ-С і стіною – не менше 75 мм. Остаточно встановити обігрівач на місце і встановити упори. Підключення шнура живлення до клемника всередині апарату здійснюється через боковий отвір в корпусі після відкручування гвинтів і зняття захисної кришки.

Після встановлення і опробування апарату, споживачу доцільно провести декілька циклів пробних включень, повністю заряджаючи і розряджаючи апарат. При цьому приміщення необхідно добре провітрювати, оскільки на початку роботи з АЕТ-С можливі незначні і не шкідливі для здоров'я виділення, що мають неприємний запах. Цю роботу бажано виконати в достатньо теплий час, коли не вимагається повного опалювання.

Під час першого опробування апарати не повинні залишатись без нагляду.

Апарати повинні піддаватись періодичному (не рідше 1 разу на рік, у тому числі обов'язково перед початком опалювального сезону) обслуговуванню і контролю спеціалізованим персоналом підприємств електричних мереж або представників заводу-виробника.

Під час першого випробування апарати не повинні залишатись без нагляду.

Якщо апарат розбирався для ремонту або переміщався на інше місце, необхідно обов'язково перевірити стан термоізоляції (при необхідності замінити пошкоджену) і виконати роботи по підготовці апарату до роботи згідно вимог даного керівництва.

Забороняється збирання, налаштування і ремонт апарату в сирих приміщеннях і інших приміщеннях, де можливо попадання води на поверхню і всередину апарату.

Перед пуском в експлуатацію, а також через два цикли роботи після пуску і періодично, не менше одного разу на місяць, необхідно перевіряти надійність кріплень дротів, кабелів, затягування різьбових з'єднань. При необхідності, з'єднання підтягти, уникаючи пошкоджень, що впливають на подальше функціонування електрообігрівача.

Технічне обслуговування апаратів проводиться після повного відключення електроживлення тільки спеціально навченим персоналом. Організація, що виконує монтаж і обслуговування апаратів повинна мати ліцензію на виконання цих робіт. До обслуговування апаратів допускаються особи, що вивчили принцип роботи, конструкцію, порядок робіт, пройшли інструктаж по техніці безпеки, а також отримали допуск на виконання даного виду робіт.

А2. Підключення електрообігрівача до мережі.

Схема підключення електрообігрівача до однофазної мережі.

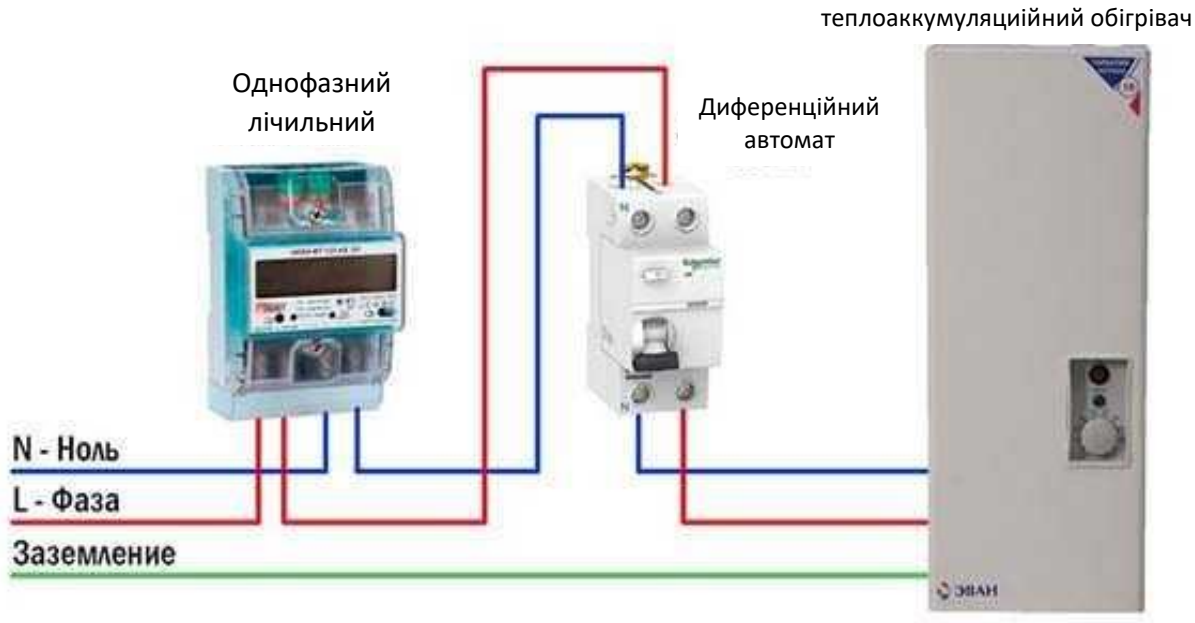


Рисунок А1 - Схема підключення електрообігрівача до однофазної мережі.

Для виконання монтажу та підключення необхідно:

- силовий кабель з мідними жилами;
- диференціальний автомат захисту;
- заземлюючий контур.

В якості силової живлячої лінії використаємо кабель марки ВВГ будь-якого різновиду, кількість жил в нашому випадку - 3. Переріз струмоведучий жили відповідно потужності електрообігрівача вказується в інструкції з експлуатації, або по розрахункам. Так згідно технічними даними Dnipro AET-C 3.0: P=3 кВт, I=13,64 А та відповідно [27] ПУЕ, табл. 1.3.6.) приймаємо кабель ВВГнн-ls (3х2,5).

Відповідного номіналу дифавтомату немає тому виберемо зв'язку пристрій захисного відключення:

1. Фазність мережі і номінальна напруга. Трифазній мережі відповідає автоматичний вимикач на три полюси і ПВЗ на чотири полюси, куди підключаються фази і нульовий провідник, значення напруги – 220 В.

$$U_{а.н} \geq U_{м};\ U_{а.н} \geq 220\ В$$

2. Номінальний струм навантаження, який диф.автомат проводить через себе тривалий час становлять 16 А.

$$I_{д.авт.н} \geq I_{р};\ 16 \geq 13,64\ А$$

3. Номінальний відключаючий струм IΔn диф.автомата (струм спрацювання) приймаємо [27] ПУЕ п.7.1.79. - 30 мА.

Приймаємо ДАВ: диференційний автомат IEK АВДТ32 16А 30мА тип А.

А3. Розрахунок заземлення.

Проведемо розрахунок штучного заземлювального пристрою при відсутності природних заземлювачів. При цьому вихідні дані: захищуваний об'єкт - обладнання електричного котла, стаціонарний; напруга мережі - 380 *В*; виконання мережі - з глухозаземленою нейтраллю; тип заземлювального пристрою - вертикальний (труби); розміри вертикальних заземлювачів: довжина l_B - 3 м; діаметр труби *d* - 0,04 *м;* товщина стінки труби δ_T - 3,5 *мм.;* відношення

відстані між трубами до їхньої довжини $L_B/l_B = 1$; розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки): довжина L_r = $L_{З.С.}$ - згідно з розрахунком, м; ширина стрічки b_c - 0,04 м; глибина закладання вертикальних заземлювачів h_B=0,5 *м;* горизонтальних h_r = 0,5 *м.;* розташування заземлювачів попередньо приймають в один ряд (рис. 1,2); ґрунт - суглинок; склад - однорідний; вологість - мала; агресивність -нормальна; кліматична зона - II. [28]

Визначаємо характеристику навколишнього середовища: за пожежною небезпекою згідно з ПУЕ воно відноситься до класу П-II; за вибухонебезпекою згідно з ПУЕ - до класу В-I; за ступенем ураження електричним струмом -з підвищеної та особливою небезпекою.

Визначаємо $R_Д$ - допустиме (нормативне) значення опору розтіканню струму в заземлювальному пристрої [39]; $R_Д \leq$ 4 *Ом.* Визначаємо $К_{С.В.}$ - приблизне значення питомого опору ґрунту, що рекомендується для розрахунку, за [39] приймаємо $\rho_{ТАБЛ}$ = 40 *Ом · м.* Визначаємо $К_{С.В.}$ - коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів для даної кліматичної зони II, за [39] приймаємо $К_{С.В.}$ = 1,5. Визначаємо значення $К_{С.Г.}$ - коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача згідно з кліматичною зоною , за [39] приймаємо $К_{С.Г.}$ = 3,5. Визначаємо $\rho_{Р03Р.В.}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів.

$$\rho_{Р03Р.В.} = \rho_{ТАБЛ.} \cdot К_{С.В.} = 40 \cdot 1{,}5 = 60\ Ом \cdot м$$

Визначаємо $\rho_{Р03Р.Г.}$ - розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів.

$$\rho_{Р03Р.Г.} = \rho_{ТАБЛ.} \cdot К_{С.Г.} = 40 \cdot 3{,}5 = 140\ Ом \cdot м$$

Визначається t - відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача [39].

$$t = h_B \frac{l_B}{2} = 0.5 + \frac{3}{2} = 2м.$$

Визначається R_B - опір, *Ом,* розтіканню струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = 0.366 \cdot \frac{\rho_{РОЗР.В.}}{L_B}\left(\lg\frac{2L_B}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t + L_B}{4t - L_B}\right) = 0.366\frac{60}{3}\left(\lg\frac{2 \cdot 3}{0.04} + \frac{1}{2}\lg\frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3}\right) = 15,7Ом$$

Визначається $n_{T.B.}$ - теоретична кількість вертикальних заземлювачів без врахування коефіцієнта використання $\eta_{B.B.}$, тобто $\eta_{B.B.}$ = 1.

$$n_{T.B.} = \frac{R_B}{R_Д \cdot \eta_{B.B.}} = \frac{15,7}{4 \cdot 1} = 3.9 \approx 4шт$$

Визначають $\eta_{B.B}$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при розташуванні їх згідно з вихідними даними при числі заземлювачів $n_{T.B.}$ = 4 та при відношенні $L_B/l_B = 1$, за [39] приймаємо: $\eta_{B.B.}$=0,65

Визначається $n_{H.B.}$ - необхідна кількість, шт., вертикальних однакових заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання

$$n_{H.B.} = \frac{R_B}{R_Д \cdot \eta_{B.B.}} = \frac{19.7}{4 \cdot 0.59} = 6$$

Визначається $R_{РОЗР.B.}$ - розрахунковий опір, *Ом,* розтіканню струму у вертикальних заземлювачах при $n_{H.B.}$ = 6 без врахування з'єднувальної стрічки

$$R_{РОЗР.B.} = \frac{R_B}{n_{H.B.} \cdot \eta_{B.B.}} = \frac{15.7}{6 \cdot 0,65} = 4,02 \text{ Ом}$$

Визначаємо L_B - відстань між вертикальними заземлювачами за відношенням $L_B/l_B = 1$. Звідси L_B = 1 · l_B = 1 · 3 = 3 *м.*

Визначаємо $L_{ЗС}$ - довжину, *м,* з'єднувальної стрічки - горизонтального заземлювача:

$$L_{ЗС} = 1,05 \cdot L_B (n_{H.B.} - 1) = 1,05 \cdot 3 (6\text{-}1) = 15,75 \text{ м}$$

Визначаємо $R_{Г.З.С.}$ - опір, *Ом,* розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці):

$$R_{Г.З.С.} = 0,366 \frac{\rho_{РОЗР.Г}}{L_{З.С.}} \lg \frac{2L_{З.С.}^2}{h_з b_C} = 0,366 \frac{1050}{249} \lg \frac{2 \cdot 249^2}{0.8 \cdot 0.04} \approx 8Ом$$

Визначається $\eta_{B.Г.}$- коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів згідно з вихідними даними або за чотирикутним контуром при відношенні $L_B/l_B = 1$ та необхідній кількості вертикальних заземлювачів $n_{H.B.}$= 6, за [39] приймаємо $\eta_{B.Г.}$= 0,72. При паралельно вкладених горизонтальних заземлювачах $\eta_{B.Г.}$ визначається за [39].

Визначаємо $R_{РОЗР.Г.}$ - розрахунковий опір, *Ом,* розтіканню струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній стрічці) при числі електродів $n_Г$ = 1:

$$R_{РОЗР.Г.} = \frac{R_{Г.З.С.}}{n_Г \eta_{В.Г.}} = \frac{13{,}1}{1 \cdot 0{,}72} = 18.2$$

Визначаємо $R_{РОЗР.В.Г.}$ - розрахунковий теоретичний опір, *Ом,* розтіканню струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах

$$R_{РОЗР.В.Г.} = \frac{1}{\frac{1}{R_{РОЗР.В.}} + \frac{1}{R_{РОЗР.Г.}}} = \frac{1}{\frac{1}{4.02} + \frac{1}{18.2}} = 3{,}3 \ Ом$$

Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників, за [39] вибираємо голі мідні $S_M = 4$ *мм*^{2} або алюмінієві $S_A = 6$ мм^2 провідники.

Вибираємо матеріал та поперечний перетин магістральної шини, за [39] приймаємо сталеву шину товщиною $\delta_C = 4$ *мм* і перетином не менше $\sigma = 10$ мм^2. Схема з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм (з'єднувальною стрічкою).

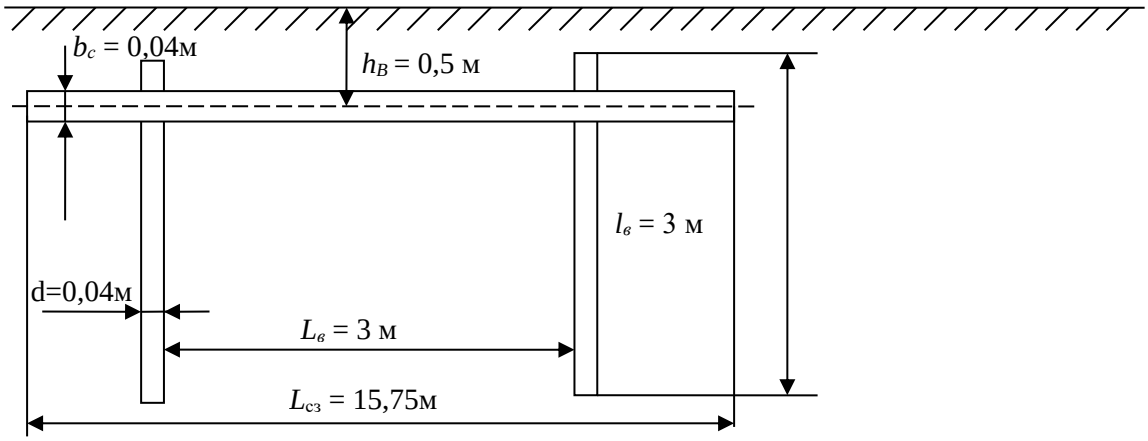


Рисунок А2 - Схема прокладки заземлення

Додаток Б.

Економічна частина

Б1. Техніко-економічне порівняння варіантів систем електроопалення житлових будинків

Для оцінки ефективності застосування систем опалення з використанням електричних теплоакумуляторів проведемо техніко-економічне порівняння різних варіантів електроопалення житлової будівлі. Розглянемо п‘ять можливих варіантів теплопостачання житлового будинку:

1) з використанням електричних теплоакуміляторів;

2) з використанням електроіндукційної установки;

3) з використанням теплоакумулюючого ефекту (ЕКСО ТА);

4) з використання системи централізованого опалення;

5) з використанням електричних конвекторів.

Визначимо кількість теплової енергії, якою необхідно забезпечити житловий будинок за наступних умов:

- загальна площа будинку $S=185м^2$;
- висота приміщення $h=2,75м$;
- опалювальна характеристика будівлі $q_0=0,48$ *кКал/м³ год °С*;
- розрахункова температура зовнішнього середовища для м. Кропивницький $t_{з.р.} = -21°C$;
- внутрішня розрахункова температура в приміщенні $t_{в.р.} = 18°C$;
- середня температура зовнішнього середовища за опалювальний період $t_{сер.о.} = -1°C$.

Теплові втрати житлового будинку визначаються за формулою:

$$Q_{вт} = S \cdot h \cdot q_0 \cdot \varphi(t_{в.р} - t_{сер.о}) \qquad (Б1)$$

$$Q_{вт} = 185 \cdot 2,75 \cdot 0,48 \cdot 1,134 \cdot (18 - (-1)) = 5261 \frac{кКал}{год} = 6119 Вт$$

Отже, витрата теплової енергії за опалювальний період

$$W = n_0 \cdot Q_{вт} \cdot 24 = 185 \cdot 6119 \cdot 24 = 27169 \ кВт \cdot год$$

де n_0 – кількість діб в опалювальному періоді.

Проведемо оцінку економічної ефективності систем опалення житлового будинку, розглядаючи кожний з порівнюваних варіантів як окремий проект.

В основі оцінки ефективності проектних рішень покладено такі *принципи*:

- зіставлення грошового потоку від реалізації проекту із вкладеннями, необхідними для його здійснення;
- приведення інвестиційного капіталу і грошового потоку до єдиного розрахункового року (що, як правило, передує початку проекту);
- дисконтування грошових потоків здійснюється за ставками дисконту, що відображають альтернативну вартість капіталу.

Інвестиційні вкладення визнаються доцільними, якщо додатковий грошовий потік від реалізації проекту достатній для повернення їх початкової суми та забезпечення необхідної віддачі на вкладений капітал.

Найчастіше застосовуваним у практиці прийняття інвестиційних рішень є *показник чистої теперішньої вартості ЧТВ* (*net present value – NPV*), що являє собою різницю між сумою грошових надходжень від реалізації проекту, приведених до їх теперішньої вартості, та сумою дисконтованих витрат, необхідних для здійснення цього проекту.

У зв’язку з тим, що в порівнюваних варіантах можна визначити лише витрати за проектами, а виразити в грошових одиницях вигоди досить складно, показник ЧТВ може бути обчислено дуже приблизно і неточно.

Тому, у якості критерію прийняття рішення, що оцінює проекти лише за витратами, варто прийняти ***показник еквівалентних річних витрат (ЕРВ)***. Його використовують при оцінці прийняття рішення, коли неможливо або дуже складно прогнозувати додатковий грошовий потік (ремонт чи придбання обладнання; альтернативні варіанти опалення, освітлення тощо). Кращим визнається проект, що має найменші витрати і дає однаково бажаний результат.

Згідно [29], показник еквівалентних річних витрат визначається за формулою:

$$EPB = \frac{K + \sum_{t=1}^{n} \frac{З_t}{(1+i/100)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{1}{(1+i/100)^t}} \quad (Б2)$$

де K – капіталовкладення в проект;

$З_t$ – повні витрати за рік t;

t – відповідний рік проекту (1, 2, 3, ... n);

n – строк служби проекту, років.

i – ставка дисконту (визначаємо за ставкою, встановленою НБУ у 2022 році – 25%).

В загальному випадку капітальні витрати включають в себе:

$$K = K_{буд} + K_{об} + K_{дод} \quad (Б3)$$

де $K_{буд}$ – капіталовкладення в будівлі і споруди. Визначаються на основі їх кошторисної вартості;

$K_{об}$ – капіталовкладення в обладнання, які включають: витрати на придбання, доставку, монтаж, пусконалагоджувальні роботи;

$$K_{об} = Ц_{об} \cdot \left(1 + \frac{к_д}{100} + \frac{к_м}{100}\right) \quad (Б4)$$

де $Ц_{об}$ – загальна ціна обладнання;

$к_д$ – відсоток витрат, пов’язаних з доставкою обладнання. В розрахунках може бути прийнятий 1-2% від ціни обладнання;

$к_м$ – коефіцієнт, який враховує витрати на монтаж обладнання та пусконалагоджувальні роботи (може бути прийнятий 5-15% від ціни обладнання);

$K_{дод}$ – додаткові капіталовкладення до складу яких входять: витрати на підготовку проектно-кошторисної документації, та отримання дозвільної документації.

Варіант 1. Система опалення з використанням електричних теплоакумуляторів

У даному варіанті системи опалення житлового будинку планується встановлення теплоакумуляційних обігрівачів Dnipro AET-C 3.0. Номінальна потужність – 3 кВт, напруга – 220 В, струм 13,64 А, вага – 64 кг.

Враховуючи, що загальна площа опалювального приміщення складає 185 м^2, а потужність одного обігрівача становить 3 кВт у розрахунку на опалювальну площу 30 м^2, приймаємо до встановлення 6 електротеплових обігрівачів.

Опалення приміщень здійснюється шляхом нагріву і природної конвекції повітря. Строк служби проекту – 15 років. Тип, кількість та вартість обладнання наведено в табл. Б1.

Таблиця Б1 – Вартість елементів системи електроопалення з використанням електричних теплоакумуляторів

п/п	Обладнання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	Теплоакумуляциійний обігрівач Dnipro AET-C 3.0	6 шт.	10200,0	61200,0
2	Монтажні матеріали (кабель, провід, комутаційні пристрої, клемники і т.д.)	компл.	5350,0	5350,0
	Всього			66550,0

Вартість монтажних та пусконалагоджувальних робіт може бути прийнятою 10% від вартості обладнання. У цьому випадку капіталовкладення в обладнання складуть:

$$K_{об} = 66550 \cdot \left(1 + \frac{2}{100} + \frac{10}{100}\right) = 75867 \text{ грн.}$$

Вартість розробки проектної документації для даного варіанту складає 2500 грн. Таким чином, загальні капіталовкладення по варіанту:

$$K = 75867 + 2500 = 78367 \ грн.$$

У випадку використання теплоакумуляційних обігрівачів кількість спожитої електроенергії за опалювальний період буде дорівнювати витратам теплової енергії:

$$WP = W = 27169 \ кВт{\cdot}год.$$

Оскільки дана система опалення не потребує витрат на обслуговування та ремонт, загальні поточні витрати за проектом будуть включати тільки вартість спожитої електричної енергії, яка у порівнюваних проектах розраховується за умови наявності окремого обліку споживання електроенергії за періодами часу:

$$B_{ее} = WP_д \cdot C_0 + WP_н \cdot C_н, \qquad (Б5)$$

де $WP_д$ – споживання еклектичної енергії для потреб опалення в зоні «день». Може бути прийнято на рівні 60% від загального споживання;

$C_о$ – тариф на електричну енергію в зоні «день»;

$WP_н$ – споживання еклектичної енергії для потреб опалення в зоні «ніч». Може бути прийнято на рівні 40% від загального споживання;

$C_н$ – тариф на електричну енергію в зоні «ніч»;

Використання теплоакумуляційних обігрівачів дасть можливість споживати електроенергію для потреб опалення тільки в зоні «ніч»:

$$B_{ее} = WP \cdot C_н, \qquad (Б6)$$

де $C_н$ – тариф на електричну енергію в зоні «ніч»;

$$B_{ее} = 27169 \cdot 0,84 = 22822 \ грн.$$

Еквівалентні річні витрати:

$$EPB_1 = \frac{78367 + 22822 \cdot 3,859}{3,859} = 43130 грн.,$$

де 3,859 – сума табличних значень фактору теперішньої вартості при i=25% і n=15 років) [1, с. 307].

Варіант 2. Система опалення з використанням електроіндукційної установки

Тип, кількість та вартість обладнання, яке застосовується в варіанті теплопостачання з використанням індукційного електронагрівача наведено в табл. Б2. Строк служби проекту складає 20 років.

Таблиця Б2 – Вартість елементів системи теплопостачання з використанням індукційного електронагрівача

п/п	Обладнання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	Вузол нагріву «ТИТАН» на базі індукційного електронагрівача «ЕДІСОН»	1 шт.	43700,0	43700,0
2	Теплоакумулятор КНТ ЕА-00-3000	2 шт.	11350,0	22700,0
3	Радіатор біметалевий	8 шт.	3310,0	26480,0
4	Монтажні матеріали	1 компл.	11000,0	11000,0
	Всього			103880,0

Капіталовкладення в обладнання складуть:

$$K_{об} = 103880 \cdot \left(1 + \frac{2}{100} + \frac{10}{100}\right) = 116346 \, грн.$$

Вартість розробки проектної документації для даного варіанту складає 4000 грн. Загальні капіталовкладення за варіантом:

$$K = 116346 + 4000 = 120346 \ \ грн.$$

Загальні річні поточні витрати будуть включати вартість спожитої електроенергії та витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання, які в розрахунках можуть бути прийняті 1200 грн./рік.

Кількість спожитої електричної енергії у випадку теплопостачання з використанням термоелектричного теплового насосу буде складатися з електричної енергії спожитої термоелектричними модулями Пельтьє та енергії спожитої допоміжним обладнанням

$$WP = W + W_{дод}, \quad (Б7)$$

де $W_{дод}$ – електроенергія, що споживається допоміжним обладнанням:

$$W_{дод} = n_0 \cdot P_{дод} \cdot 24 = 185 \cdot 110 \cdot 24 = 488\,кВт \cdot год,$$

де $P_{дод}$ – електрична потужність допоміжного обладнання, Вт.

$$WP = 27169 + 488 = 27657\,кВт\,год$$

Оскільки в системі опалення встановлено теплоакумулятори, установка буде працювати лише в години нічного мінімального навантаження енергосистеми, а оплата за спожиту електроенергію буде розраховуватись за «нічним» тарифом. Вартість спожитої електричної енергії:

$$B_{ее} = 27657 \cdot 0,84 = 23232\,грн$$

Загальні річні поточні витрати:

$$З_t = 23232 + 1200 = 24432\,грн.$$

Еквівалентні річні витрати складуть:

$$EPB_2 = \frac{120346 + 24432 \cdot 3,954}{3,954} = 54\,868\,грн.$$

Варіант 3. Система опалення з теплоакумулюючим ефектом (ЕКСО ТА)

Для визначення кількості та вартості обладнання, яке застосовується у варіанті теплопостачання з використанням електрокабельної системи опалення з теплоакумулюючим ефектом (ЕКСО ТА) розрахуємо наступні параметри.

Розрахунковий потік теплоти на 1 м^2 ЕКСО ТА теплої підлоги визначається за формулою [30]:

$$q_h^{reg} = \frac{Q_{вт}}{F_{ht}}, \quad (Б8)$$

де F_{ht} – площа теплої підлоги, яка дорівнює 70% від площі приміщення:

$$F_{ht} = 185 \times 0,7 = 129,5 \text{ м}^2.$$

$$q_h^{reg} = \frac{6119}{129,5} = 47,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Середня теплова потужність акумулюючого шару ЕКСО ТА визначається за формулою [30]:

$$Q_{htb}^{reg} = k_z \cdot q_h^{reg} \cdot F_{ht}, \quad \text{(Б9)}$$

де k_z – коефіцієнт запасу, який враховує можливість перевищення фактичних втрат теплоти в будівлях порівняно з розрахунковими значеннями, k_z = 1,3.

$$Q_{htb}^{reg} = 1,3 \cdot 47,2 \cdot 129,5 \text{ Вт.}$$

Середня теплова потужність ЕКСО ТА [30]:

$$P_{сер} = Q_{htb}^{reg} \cdot k_{вп},$$

де $k_{вп}$ – коефіцієнт використання потужності протягом опалювального періоду (відповідно до 30[30], $k_{вп}$ = 0,49).

$$P_{сер} = 7955 \cdot 0,49 = 3898 \text{ Вт.}$$

Розрахункова електрична потужність кабельних секцій, які вкладаються в акумулюючий шар ЕКСО ТА, визначається за формулою [30]:

$$P_{ТЕН} = 24 \cdot \frac{P_{сер}}{z_b}, \quad \text{(Б10)}$$

де z_b – період накопичення теплоти в акумулюючому шарі (споживання електроенергії); *24* – період віддачі теплоти для опалення приміщення.

$$P_{ТЕН} = 24 \cdot \frac{3898}{7} = 13364 \text{ Вт.}$$

Розрахункова довжина нагрівального кабелю [30]:

$$L = \frac{P_{ТЕН}}{P_n}, \quad \text{(Б11)}$$

де P_n – номінальна потужність 1 п.м кабелю (прийнята 25 Вт/м).

$$L = \frac{13364}{25} = 535 \text{ м}$$

Розрахунок вартості обладнання, яке застосовується у варіанті теплопостачання з використанням ЕКСО ТА наведено в табл. Б3. Строк служби проекту складає 10 років.

Таблиця Б3 – Вартість елементів системи теплопостачання з використанням ЕКСО ТА

п/п	Обладнання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	Кабель нагрівальний	535 м	30,0	16050,0
2	Терморегулятор	8 шт.	1300,0	10400,0
3	Монтажні матеріали	1 компл.	38500,0	38500,0
	Всього			64950,0

Капіталовкладення у дану систему теплопостачання включають капіталовкладення в обладнання ($К_{об}$) і витрати на монтаж акумулюючого шару ЕКСО ТА ($В_м$).

$$B_м = F_{ht} \cdot T_м, \qquad \text{(Б12)}$$

$T_м$ – тариф на монтаж 1м^2 теплої підлоги ($T_м$ = 315 грн./м^2).

$$B_м = 129,5 \cdot 315 = 40792 \text{ грн.}$$

Загальні капіталовкладення за варіантом:

$$К = 64950 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) + 40792 = 107041 грн.$$

Таким чином, обсяг споживання електричної енергії ЕКСО ТА за опалювальний період складає 19789 кВт·год.

Використання ЕКСО ТА дасть можливість споживати електроенергію для потреб опалення тільки в зоні «ніч»:

$$B_{ее} = 19789 \cdot 0,84 = 16683 грн.$$

Еквівалентні річні витрати:

$$ЕРВ_{З} = \frac{107041 + 16683 \cdot 3,571}{3,571} = 46598 грн.$$

Варіант 4. Система опалення з використанням електричних конвекторів

У даному варіанті системи опалення житлового будинку планується встановлення електричних конвекторів Ensto серії Beta з електронним термостатом і Bluetooth. Опалення приміщень здійснюється шляхом нагріву і природної конвекції повітря. Строк служби проекту – 10 років. Тип, кількість та вартість обладнання наведено в табл. Б4.

Вартість монтажних та пусконалагоджувальних робіт може бути прийнятою 10% від вартості обладнання. В цьому випадку капіталовкладення в обладнання складуть:

$$К_{об} = 63170 \cdot \left(1 + \frac{1}{100} + \frac{10}{100}\right) = 70119 грн.$$

Таблиця Б4 – Вартість елементів системи електроопалення з використанням конвекторів

п/п	Обладнання	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1	Конвектор Ensto BETA20-BT-EP, 2000 Вт	2 шт.	6275,0	12550,0
2	Конвектор Ensto BETA15-BT-EP, 1500 Вт	5 шт.	5320,0	26600,0
3	Конвектор Ensto BETA10-BT-EP, 1000 Вт	4 шт.	3980,0	15920,0
4	Монтажні матеріали (кабель, провід, електророзетки, клемні колодки, і т.д.)	компл.	8100,0	8100,0
	Всього			63170,0

Вартість розробки проектної документації для даного варіанту складає 2500 грн. Загальні капіталовкладення по варіанту:

$$К = 70119 + 2500 = 72619 грн.$$

У випадку використання електричних конвекторів кількість спожитої електроенергії за опалювальний період буде дорівнювати кількості теплової енергії

$$WP = W = 27169\ кВт{\cdot}год.$$

Оскільки дана система опалення не потребує витрат на обслуговування та ремонт, загальні поточні витрати за проектом будуть включати тільки вартість спожитої електричної енергії. Розрахунок будемо вести за умови наявності окремого обліку споживання електроенергії за періодами часу:

$$B_{ее} = 27169 \cdot 0,6 \cdot 1,68 + 27169 \cdot 0,4 \cdot 0,84 = 36515\ грн$$

Еквівалентні річні витрати:

$$EPB_4 = \frac{72619 + 36515 \cdot 3,571}{3,571} = 56\ 851 грн.$$

Варіант 5. Теплопостачання з використанням централізованого опалення

При централізованому опаленні враховується лише вартість надання послуг з централізованого теплопостачання. Розрахунок оплати централізованого опалення по місяцям наведений в табл. Б5.

Таблиця Б5 – Розрахунок оплати послуг централізованого теплопостачання

Місяць	Тариф, грн./м^2	Вартість, грн
Січень	64,41	11915,85
Лютий	58,165	10760,53
Березень	56,589	10468,97
Квітень	23,925	4426,13
Жовтень	18,172	3361,82
Листопад	62,506	11563,61
Грудень	57,671	10669,14
Всього за опалювальний сезон		63166,03

При розрахунках оплати (табл. 6.5) використана вартість надання послуг централізованого теплопостачання КП «Теплоенергетик» за 2021/22р. та враховано площу житлового приміщення в 185 м^2.

Оскільки в даному варіанті відсутні капіталовкладення та інші поточні витрати, еквівалентні річні витрати будуть дорівнювати вартості наданих послуг.

$$ЕРВ_5 = 63166 грн.$$

Результати розрахунків еквівалентних річних витрат за варіантами розглянутих систем опалення зведемо до табл. Б6.

Таблиця Б6 – Результати розрахунків ЕРВ за варіантами систем опалення житлового приміщення

Можливі варіанти теплопостачання	ЕРВ, грн.
з використанням електричних теплоакуміляторів	43130
з використанням електроіндукційної установки	54868
з використанням теплоакумулюючого ефектом (ЭКСО ТА)	46598
з використанням електричних конвекторів	56851
з використання системи централізованого опалення	63166

Проведені техніко-економічні розрахунки показали, що варіант №1 – Система опалення з використанням електричних теплоакумуляторів, зокрема на базі теплоакумуляційних обігрівачів Dnipro AET-C 3.0 – має мінімальні еквівалентні річні витрати та в даному випадку є кращим варіантом теплопостачання житлового будинку.