

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра електричної інженерії
(повна назва факультету)
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тарасенко М.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Золотницькому Анатолію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Енергоефективність комбінованих систем енергозабезпечення
на базі міні-ТЕЦ

Керівник роботи к.т.н., доц. Зінь М.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «23» лютого 2021 року № 4/7-132

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2021

3. Вихідні дані до роботи Оцінка теплової та паливної ефективності міні-ТЕЦ у складі
комбінованих систем теплоенергопостачання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Стан і тенденції розвитку теплофікаційних систем

2. Схеми, параметри і характеристики міні-ТЕЦ на базі ГТУ

3. Аналіз виконаних досліджень по оптимізації параметрів і визначення
ефективності міні-ТЕЦ

4. Вибір розрахункових схем систем комбінованого теплопостачання

5. Енегоефективні схеми опалювальних міні-ТЕЦ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Принципова тепла схема міні-ТЕЦ

2. Графік теплових навантажень за тривалістю

3. Блок-схема алгоритму розрахунку характеристик теплофікаційних ГТУ

4. Добовий хід температур повітря в літній і зимовий періоди року

5. Результати розрахунку ГТУ

6. Річні показники роботи міні-ТЕЦ

7. Номограма визначення граничної теплової потужності міні-ТЕЦ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТзс-42. - Т. : ТНТУ, 2021.

Стор. 71; рис. 14; табл. 9; креслень (презентацій) ; джерел 28.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Енергоефективність комбінованих систем енергозабезпечення на базі міні-ТЕЦ».

Метою роботи є розрахунок комбінованої децентралізованої системи теплопостачання на базі районних ТЕЦ і децентралізованих джерел теплопостачання на основі утилізаційних ГТУ..

Проведено аналіз робіт по оптимізації параметрів і визначення ефективності міні-ТЕЦ. Узагальнено методика розрахунку комбінованих теплопостачальних систем. Запропоновано блок-схему алгоритму розрахунку характеристик теплофікаційних ГТУ. Проведено розрахунок параметрів ГТУ та котла-утилізатора.

Ключові слова: ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА, ТЕПЛО-ЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ, КОТЕЛ УТИЛІЗАТОР

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	РЕФЕРАТ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Золотницький А.В.					3	
<i>Перевірів</i>		Зінь М.М.						
<i>Консульт.</i>		Зінь М.М.						
<i>Н. Контр.</i>		Вакулєнко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>		Тарасєнко М.Г.				гр.ЕТзс-42, ФПТ, ТНТУ		

ЗМІСТ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Стан і тенденції розвитку теплофікаційних систем	
1.2 Аналіз виконаних досліджень по оптимізації параметрів і визначення ефективності міні-ТЕЦ.....	12
1.3 Висновки до розділу	15
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	16
2.1 Схеми, параметри і характеристики міні-ТЕЦ на базі ГТУ малої і середньої потужності	16
2.2 Вибір розрахункових схем систем комбінованого теплопостачання.....	25
2.3 Висновки до розділу	31
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	32
3.1 Розрахунок міні-ТЕЦ в умовах змінних режимів роботи.....	32
3.2 Обґрунтування граничної теплової потужності міні-ТЕЦ	52
3.3 Висновки до розділу	61
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	62
4.1 Заходи, які зменшують небезпеку виникнення вибухів та пожеж.....	62
4.2 Фізичні основи електробезпеки.....	65
4.3 Захист від статичної електрики	66

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ЗМІСТ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Золотницький А.В.					4	
<i>Перевірів</i>		Зінь М.М.						
<i>Консульт.</i>		Зінь М.М.						
<i>Н. Контр.</i>		Вакуленко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>		Тарасенко М.Г.				гр.ЕТзс-42, ФПТ, ТНТУ		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 69

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		54

ВСТУП

Актуальність роботи. Традиційні теплофікаційні системи не забезпечують розрахункової економії палива і загальної ефективності. Це пов'язано, в основному, з двома причинами. Ефект економії палива від централізації теплопостачання практично зведений до нуля внаслідок того, що ККД котелень підвищений до рівня ККД енергетичних котлів. Друга складова паливного ефекту від комбінованого виробництва електричної та теплової енергії на ТЕЦ також виявилася нижче розрахункової внаслідок теплових втрат і витрат з витоками при транспорті гарячої води на великі відстані.

Таким чином, будівництво нових великих ТЕЦ для покриття дефіциту теплових потужностей неминуче пов'язане з проблемою пошуків джерел фінансування. Орієнтація ж на будівництво великих котелень є безперспективним напрямом через збільшення потреб в паливі та необхідністю вирішення екологічних проблем.

У цих умовах актуальною є тенденція на будівництво децентралізованих джерел електро- і теплопостачання, як правило, з використанням конверсійних газотурбінних установок. Створення таких енергоустановок, поряд з низкою переваг, таких як короткі терміни будівництва, підвищення надійності теплопостачання, використання потенціалу конверсійних підприємств та інших, має ряд недоліків, пов'язаних з труднощами їх розміщення, можливою перевитратою палива в системі і необхідністю вирішення екологічних завдань.

Одним з напрямків створення високоефективних теплопостачальних систем, що поєднують позитивні якості централізованого та децентралізованого енергопостачання, є створення комбінованих

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ВСТУП	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Золотницький А.В.					6	
<i>Перевірів</i>		Зінь М.М.						
<i>Консульт.</i>		Зінь М.М.						
<i>Н. Контр.</i>		Вакуленко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>		Тарасенко М.Г.				гр.ЕТзс-42, ФПТ, ТНТУ		

децентралізованих систем теплопостачання, що включають районні ТЕЦ з комбінованим виробленням електроенергії та тепла для потреб гарячого водопостачання та її транспортування і утилізаційних ГТУ малої і середньої потужності для комбінованого виробництва електроенергії та тепла для потреб опалення.

Створення таких комбінованих децентралізованих систем теплопостачання вимагає проведення великого комплексу наукових досліджень, які включають визначення їх системної теплової та паливної ефективності з урахуванням режимів теплоспоживання і кліматичних факторів, вирішення питань забезпечення надійності теплопостачання споживачів, питань розміщення, екологічного впливу на навколишнє середовище і загальної ефективності.

Мета роботи: розрахувати комбіновану децентралізовану систему теплопостачання на базі районних ТЕЦ і децентралізованих джерел теплопостачання на основі утилізаційних ГТУ.

Основними завданнями, що підлягають вирішенню, є:

1. Провести аналіз робіт по оптимізації параметрів і визначення ефективності міні-ТЕЦ.
2. Узагальнити методика розрахунку комбінованих теплопостачальних систем.
3. Запропонувати блок-схему алгоритму розрахунку характеристик теплофікаційних ГТУ.
4. Провести розрахунок параметрів ГТУ та котла-утилізатора.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 71 арк. формату А4, графічна частина – аркушів презентації.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		7

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан і тенденції розвитку теплофікаційних систем

Головною метою розвитку енергетики є ефективне, надійне і безпечне енергопостачання споживачів при мінливій кон'юктурі ринку палива, обладнання, енергетичного попиту і т.д. В рамках цієї мети найважливішим завданням найближчого періоду є формування нових організаційних і технологічних основ для ефективного, надійного і екологічно прийняттого забезпечення промисловості і комунально-побутового сектора електроенергією і теплом.

Найважливішим важелем регулювання попиту на електроенергію і тепло в ринкових умовах є регулювання співвідношення в цінах на паливо, тепло і електроенергію, взаємопов'язані через функції попиту і пропозиції. Так як інвестиційний цикл споживачів енергії значно менший, ніж енерговиробників то, при наявності диспропорції між темпами зростання енергоспоживання і введенням нових генеруючих потужностей, виникає небезпека зменшення і обмеження споживачів. Тому одним з найважливіших завдань є зниження термінів будівництва енергетичних об'єктів.

Економія палива, електричної і теплової енергії у всіх сферах економіки є найважливішим фактором зниження інвестиційного навантаження країни в енергетику, веде до економії первинних енергоресурсів. Інтенсифікація енергозбереження може бути забезпечена комплексом різноманітних заходів переважно економічного характеру.

У нових умовах господарської самостійності споживачів і виробників енергії особливої актуальності набувають питання створення взаємоприйняттого механізму стимулювання заходів з енергозбереження,

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Золотницький А.В.</i>			1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Зінь М.М.</i>					8	
<i>Консульт.</i>		<i>Зінь М.М.</i>				гр.ЕТЗс-42, ФПТ, ТНТУ		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Вакулєнко О.О.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Тарасенко М.Г.</i>						

надійного енергозабезпечення, підвищення якості енергії, впровадження енергетичних стандартів та відповідальності за їх порушення, забезпечення правової взаємодії споживачів і виробників енергії.

З огляду на стан і тенденції формування паливного балансу країни, завдання полягає в підвищенні ефективності використання природного газу за рахунок застосування нових вискоелективних технологій і технічних рішень, наприклад парогазових установок і теплофікаційних ГТУ і створення на їх основі блок-ТЕЦ і міні-ТЕЦ.

Основні вимоги, що пред'являються до енергоустановки малої і середньої потужності, можна звести до наступного:

- створення і серійне виробництво високотемпературних вискоелективних газотурбінних установок потужністю до 16-25 МВт з ККД не нижче 31-32% і парогазових установок потужністю до 80 МВт з ККД не нижче 50-52%;

- серійне виробництво блочно-комплектних енергетичних газотурбінних і парогазових установок малої та середньої потужності з температуро газів до 1300 ° С;

- доведення напрацювання на відмову ГТУ до 6000-7000 годин, а автоматизованих систем управління до 50-100 тис. годин;

- організація системи сервісного обслуговування фірмами-виробниками обладнання, що збільшить міжремонтні терміни, вирішить проблему запчастин і підвищить надійність роботи;

- більш широке використання нових жароміцних, корозійно-стійких, в тому числі і неметалічних матеріалів на основі кераміки для відповідальних елементів газових турбін і котлів утилізаторів;

- оснащення турбін і допоміжного обладнання негорючими ОМГІ, негорючими ізоляційними маслами і кабелями з негорючої ізоляції;

- створення ефективних присадок до масел для зменшення зносу третьових пар;

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		9

- розробка і серійне виготовлення сертифікованої контрольно-вимірювальної апаратури, і також засобів діагностики технічного стану обладнання, систем діагностичного контролю та моніторингу навколишнього середовища.

Широке використання енергоустановок малої і середньої потужності на базі конверсійного енергетичного обладнання може дати істотне підвищення надійності електро- та теплопостачання споживачів і помітне, на 20-30%, скорочення витрат природного газу для вироблення електроенергії і тепла. При цьому одночасно може бути істотно поліпшена екологічна ситуація в місцях виробництва електроенергії, що робить ці установки соціально прийнятними.

Розгортання будівництва міні-ТЕЦ на базі ГТУ малої і середньої потужності дозволяє по новому вирішити проблему електро- і теплопостачання підприємств паливних галузей ПЕК країни і соціальної інфраструктури.

Таким чином, використання енергоустановок типу ГТУ-ТЕЦ може привести підприємства видобутку, переробки і транспортування газу на повне самозабезпечення, що вивільнить значні обсяги газу для реалізації.

Застосування високоефективних конверсійних ГТУ в системах теплоенергопостачання дозволить знизити витрату органічного палива у споживачів до 20%, скоротить потребу в капіталовкладеннях до 20%, зменшить чисельність персоналу, зайнятого у виробництві електроенергії на 10% і знизить викиди шкідливих речовин в 1,9 рази.

Забезпечення зазначених масштабів застосування міні-ТЕЦ неможливе без вирішення наступних проблем:

- розробки і серійного виробництва екологічно прийнятних модульних електростанцій одиничною електричною потужністю від 1 до 30 МВт на підприємствах оборонної промисловості в рамках програми конверсії;

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		10

- створення регламентних систем сервісного обслуговування енергоустановок малої і середньої потужності на базі підприємств оборонної промисловості;

- розробка і виробництво електрогенеруючих установок з утилізацією тепла потужністю до 1000 кВт для приводу агрегатів власних потреб котельень, а також автоматичного енергопостачання дрібних споживачів;

- оснащення промислових споживачів першої категорії надійності джерелами електроенергії для забезпечення власних потреб.

У США в даний час експлуатується 59,1 ГВт газотурбінних і дизельних установок, як правило, теплофікаційних, що належать приватним підприємствам. Вони склали 8,1% встановленої потужності електростанцій і 11% від всієї сумарної встановленої потужності ТЕС на органічному паливі.

В Японії також розвивається тенденція децентралізації теплофікації на основі ГТУ-ТЕЦ з одиничною потужністю від 1 до 10 МВт. Законодавством встановлена необхідність оснащення великих споживачів власним енергоджерелом крім приєднання його до енергосистеми [1].

У Німеччині в зв'язку зі збільшенням імпорту природного газу з Норвегії і Росії збільшилося застосування теплофікаційних ГТУ як в промисловому, так і комунальному секторі. Їх частка у виробництві електроенергії досягла 17%. Багато галузей промисловості самозбалансовані за потребою і виробництвом електроенергії і тепла. При цьому частка ГТУ-ТЕЦ малої електричної потужності (до 10 МВт) в цих галузях становить від 65 до 100 %.

У Фінляндії близько 35% загального виробництва електроенергії виробляється на електростанціях, що належать промисловим підприємствам, муніципалітетам та іншим власникам. Вирішення великих проблем енергопостачання галузей промисловості і комунального сектора в певній мірі лежить також в напрямку децентралізації.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		11

1.2 Аналіз виконаних досліджень по оптимізації параметрів і визначення ефективності міні-ТЕЦ

У зв'язку з широким розповсюдженням міні-ТЕЦ в розвинених країнах світу і можливістю будівництва міні-ТЕЦ цій проблемі присвячено багато робіт [2,3,4,5].

Зарубіжні публікації з проблеми, як правило, присвячені питанням ліцензування будівництва міні-ТЕЦ, законодавчим і правовим аспектам, взаєминам з енергетичними компаніями та забезпечення їх мінімального впливу на навколишнє середовище. Вітчизняні публікації в більшій мірі присвячені дослідженням паливної та загальної ефективності міні-ТЕЦ в порівнянні з традиційними системами теплопостачання [6,7,8,9,10].

Аналіз зарубіжних робіт [11-15] показує, що, як правило, установки міні-ТЕЦ виконані за найпростішим термодинамічним циклом, за простою тепловою схемою.

У складі теплофікаційної міні-ТЕЦ для забезпечення надійності роботи котел-утилізатор оснащується камерою допалювання. У схемах без камери допалювання, як правило, встановлюється бак-акумулятор гарячої води.

В установках, що використовуються для потреб промислового теплопостачання, в їх схемах акумулятори не передбачаються. Це пояснюється рівномірним графіком теплоспоживання. Однак майже всі установки цього типу оснащені камерою допалювання.

У ряді зарубіжних робіт, присвячених питанням підвищення ефективності застосування міні-ТЕЦ, зазначається, що головним напрямком є забезпечення надійності їх роботи [16, 17]. Це досягається високою автоматизацією установок, вдосконаленням сервісного обслуговування, а також підвищенням теплової ефективності установок за рахунок вибору економічно найвигідніших параметрів. Так більшість газотурбінних міні-ТЕЦ виконані з початковою температурою газу перед турбіною до 1300 °С.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		12

Ведуться опрацювання щодо підвищення цієї температури до 1600 °С за рахунок використання більш жароміцних сталей з удосконаленням системи охолодження лопаток і застосування керамічних матеріалів [18]. Все це призводить до зниження питомої металоємності основного обладнання. Іншим важливим параметром ГТУ, що вимагає економічного обґрунтування, є ступінь підвищення тиску повітря в компресорі. Слід зазначити, що робота міні-ТЕЦ з КУ з камерою допалювання в режимах стеження за навантаженням впливає на вибір ступеня підвищення тиску. Однак в наявній літературі методів обґрунтування ступеня підвищення тиску з урахуванням цього фактора не наводиться.

В [19] запропоновано в якості критерію теплової ефективності міні-ТЕЦ використовувати коефіцієнт системної ефективності використання палива, що є відношенням економії палива в системі від міні-ТЕЦ до величини відпуску теплоти споживачам. Стверджується, що цей критерій доцільно використовувати в економічних розрахунках, тому що його значення однозначно визначає паливну складову системного ефекту від застосування міні-ТЕЦ. Відзначається також, що основними шляхами підвищення теплової економічності є збільшення ступеня підвищення тиску в компресорі до 24 і більше і досягнення температур газу перед турбіною 1150-1250 °С. Дослідженнями встановлено також, що при дорогому обладнанні міні-ТЕЦ (якщо питомі капіталовкладення перевищують витрати в установці, які заміщаються) коефіцієнт теплофікації опиняється нижче одиниці. При більш низьких витратах в міні-ТЕЦ стає економічно доцільним застосування акумулювання тепла для покриття графіків теплових навантажень. При цьому найважливішим фактором, що визначає вибір числа годин використання встановленої потужності є різниця в наведених витратах на вироблення пікової і базової електроенергії. Порівняльними розрахунками встановлено також, що системна ефективність міні-ТЕЦ на базі ГТУ приблизно в 3 рази вище, ніж при використанні паротурбінних установок.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		13

У роботах [20] показано, що ефективність застосування теплових акумуляторів в роздільних схемах енергопостачання істотно нижча, ніж в комбінованих. Максимум ефекту від застосування акумулятора теплоти і їх оптимальна ємність визначаються умовами досягнення найбільшого числа годин використання встановленої потужності. Спеціально проведеними дослідженнями встановлено, що газотурбінна частина міні-ТЕЦ повинна виконуватися за найпростішою схемою без проміжного охолодження повітря при його стисненні. В [6,7] викладаються результати схемно-параметричних досліджень міні-ТЕЦ. В якості критерію термодинамічної оптимізації прийнятий раніше наведений коефіцієнт системної ефективності. На основі цього критерію розроблено методики оцінки порівняльної ефективності різних схем міні-ТЕЦ. Визначені оптимальні ступені підвищення тиску в компресорах ГТУ міні-ТЕЦ. Показано, що при ступенях підвищення тиску вище 20 доцільним є застосування проміжного охолодження повітря. Досліджено питання можливості застосування вприскування пари в камери згоряння ГТУ. Зазначено, що за відсутності можливостей повного використання тепла конденсації пари з відхідних газів, вприскування пари знижує теплову ефективність міні-ТЕЦ і повинен бути обмежений мінімальною з екологічних міркувань величиною. Наявність упорскування пари призводить до зростання оптимального ступеня підвищення тиску. При близьких до оптимальних параметрів теплофікаційних ГТУ (ступінь підвищення тиску близько 20 і температурі газу близько 1100 ° С) використання часткового енергетичного упорскування пари в камеру згоряння для регулювання потужності в періоди провалу графіка теплових навантажень забезпечує істотну економію палива в системі.

В [33] розроблені методичні положення обліку режимів роботи установок малої та середньої потужності і кліматичних факторів при визначенні витрат палива. Розрахунками встановлено, що облік дійсних чинників роботи установок призводить до зростання витрат на паливо на 3-

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		14

5%. Дуже важливим питанням є обґрунтування схем і параметрів відпуску тепла від міні-ТЕЦ. Так, розрахунковими дослідженнями встановлено, що для міні-ТЕЦ оптимальним є температурний графік 95/70 °С. Слід зазначити, що в Німеччині для установок такого класу прийнятий вищий рівень температур 105/70 °С. Проведені авторами [21] дослідження по оптимізації параметрів газової частини міні-ТЕЦ з котлами-утилізаторами, оснащеними камерами допалювання показали, що режим роботи камери допалювання впливає на вибір оптимального ступеня підвищення тиску. Оптимальний ступінь підвищення тиску в компресорі буде вищим ніж оптимальний по максимуму роботи і нижчий ніж оптимальний по максимуму ККД. Проведено також дослідження щодо впливу параметрів ГТУ в складі міні-ТЕЦ на умови роботи камери допалювання по кисневому балансу газового тракту, визначені параметри, при яких можливе використання камер допалювання без подачі додаткового повітря.

1.3 Висновки до розділу

Аналітичний огляд виконаних досліджень по обґрунтуванню раціональних схем і параметрів міні-ТЕЦ на базі ГТУ малої і середньої потужності показує, що комплексні дослідження з цієї проблеми не проводилися. Всі дослідження носять приватний характер, не пов'язані єдиною методологією. Тому результати носять попередній характер.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Схеми, параметри і характеристики міні-ТЕЦ на базі ГТУ малої і середньої потужності

Газотурбінні установки навіть на надвисокі температури газу перед турбіною мають ККД, що не перевищує 32-37%.

В результаті узагальнення великої кількості джерел, які описані у розділі 1 встановлено, що номенклатура ГТУ малої і середньої потужності достатньо велика, що дозволяє здійснити обґрунтований вибір типу агрегату для конкретних умов. Видно також, що основний рівень перед газовою турбіною становить 1100 ... 1200 °С. При цьому температура вихлопних газів знаходиться на рівні 450 ... 550 °С. Тому використання ГТУ, особливо виконаних за найпростішого циклу, виявляється неефективним. Суттєвого підвищення теплової ефективності можна досягти в комбінованих циклах.

Одним із способів підвищення коефіцієнта використання тепла палива є утилізація газів ГТУ в котлах-утилізаторах з метою отримання гарячої води для опалення та гарячого водопостачання. Найпростіша принципова тепла схема такої програми утилізації ГТУ приведена на рис. 2.1.

Коефіцієнт використання теплоти палива в такій установці в залежності від параметрів газу і частка утилізованого тепла становить 80-90 %. Істотним недоліком схеми є неможливість підвищення теплової потужності котла-утилізатора. Крім того, в разі аварійної зупинки газової турбіни відпуск тепла споживачам припиняється.

Ці недоліки усуваються в схемах теплофікаційних ГТУ з камерою додаткового спалювання палива перед котлом-утилізатором (рис. 2.2).

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	2 ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Золотницький А.В.						
<i>Перевірів</i>		Зінь М.М.					16	
<i>Консульт.</i>		Зінь М.М.				<i>гр.ЕТзс-42, ФПТ, ТНТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		Вакулєнко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>		Тарасенко М.Г.						

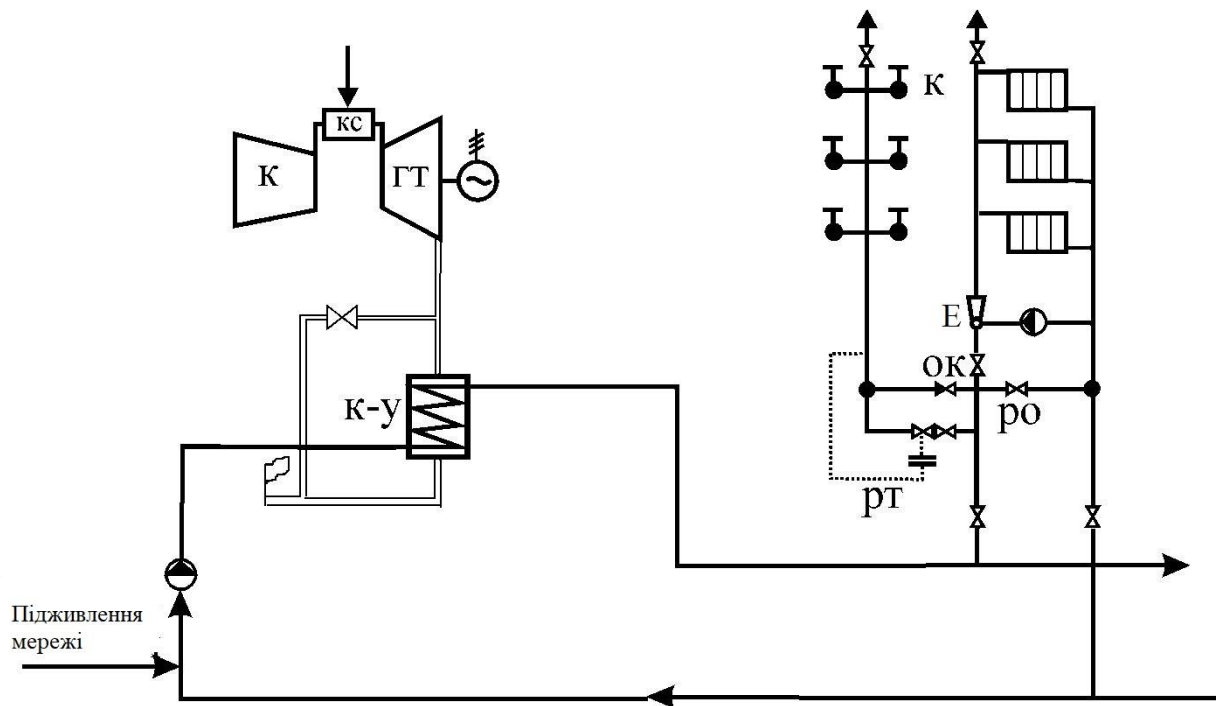


Рисунок 2.1 - Принципова теплова схема міні-ТЕЦ на базі ГТУ

К - компресор;

КС - камера згоряння;

ГТ - газова турбіна;

К-У - котел утилізатор;

Е - ежектор;

ЗК - зворотний клапан;

рТ - регулятор температури;

рВ - регулятор відбору води

При цьому, утилізаційні ГТУ можуть бути виконані за такими схемами:

- допалювання палива здійснюється в повітрі з наступним змішуванням продуктів згоряння з газами;
- допалювання палива здійснюється в середовищі газів з додаванням повітря;
- допалювання палива здійснюється у вихідних газах.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		17

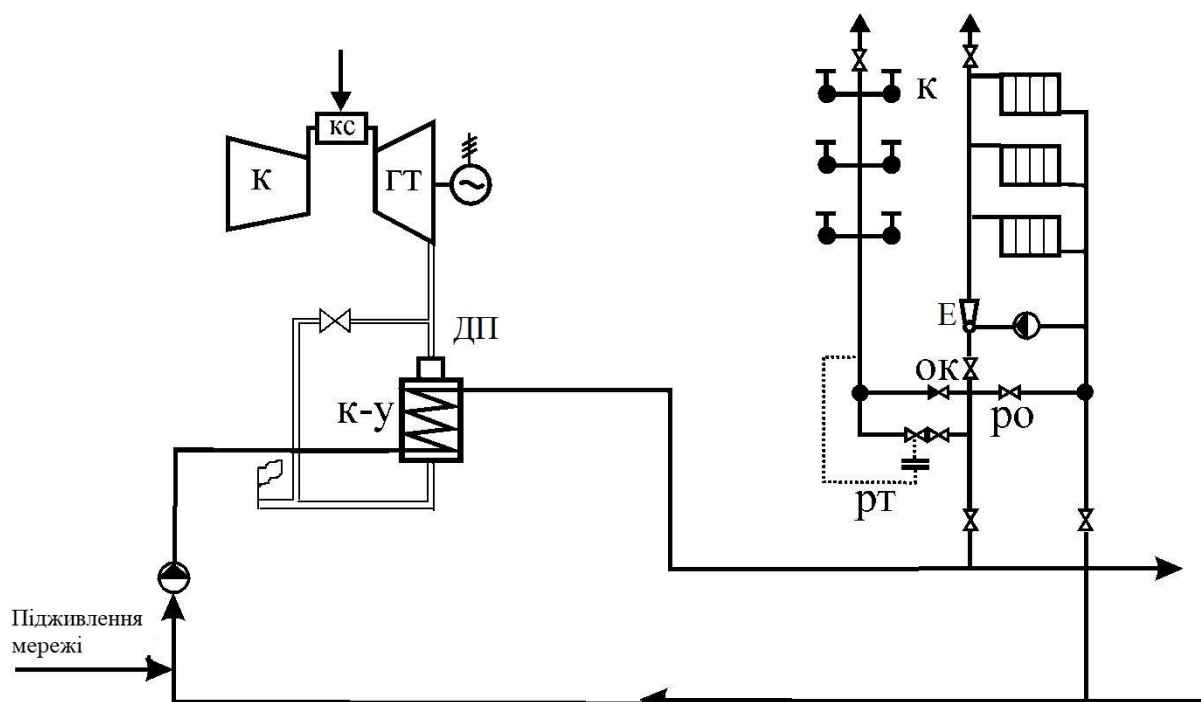


Рисунок 2.2 - Принципова теплова схема міні-ТЕЦ з допалюючим пристроєм (ДП)

На рис. 2.3 приведена принципова конструктивна схема котла-утилізатора ГТУ з допалюванням палива. Вибір способу допалювання палива в камері допалювання залежить від призначення установки, температури газу перед турбіною і за нею, параметрів теплоносія і теплової потужності котла-утилізатора. Для забезпечення автономної роботи КУ необхідно його оснастити дугтьовим вентилятором.

На рис. 2.4 показана конструкція допалювального пристрою, для котлів-утилізаторів. Допалювальний пристрій дозволяє виробляти спалювання дизельного палива або природного газу в потоці газів за газовою турбіною.

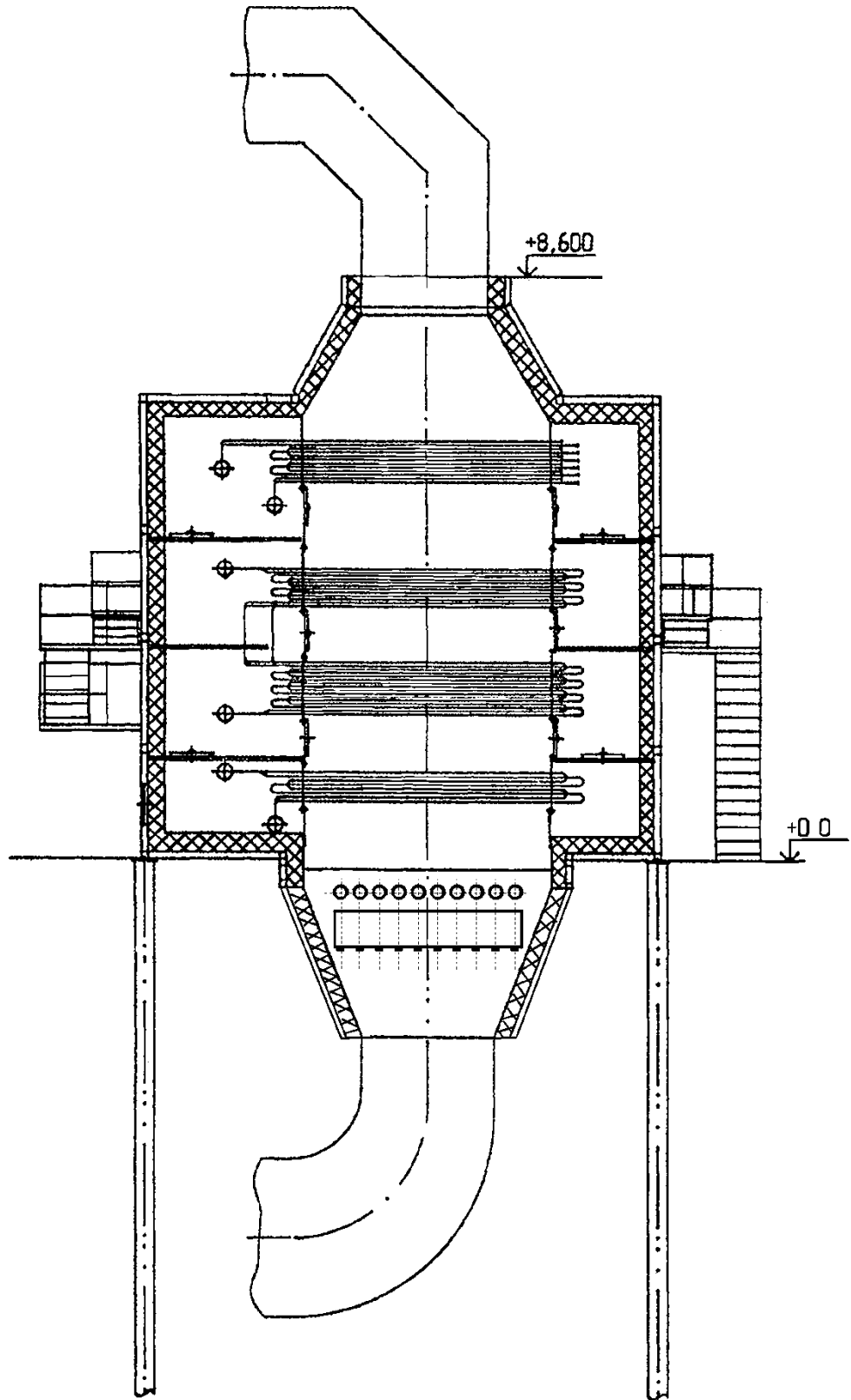


Рисунок 2.3 - Котел-утилізатор з допалюючим пристроєм

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		19

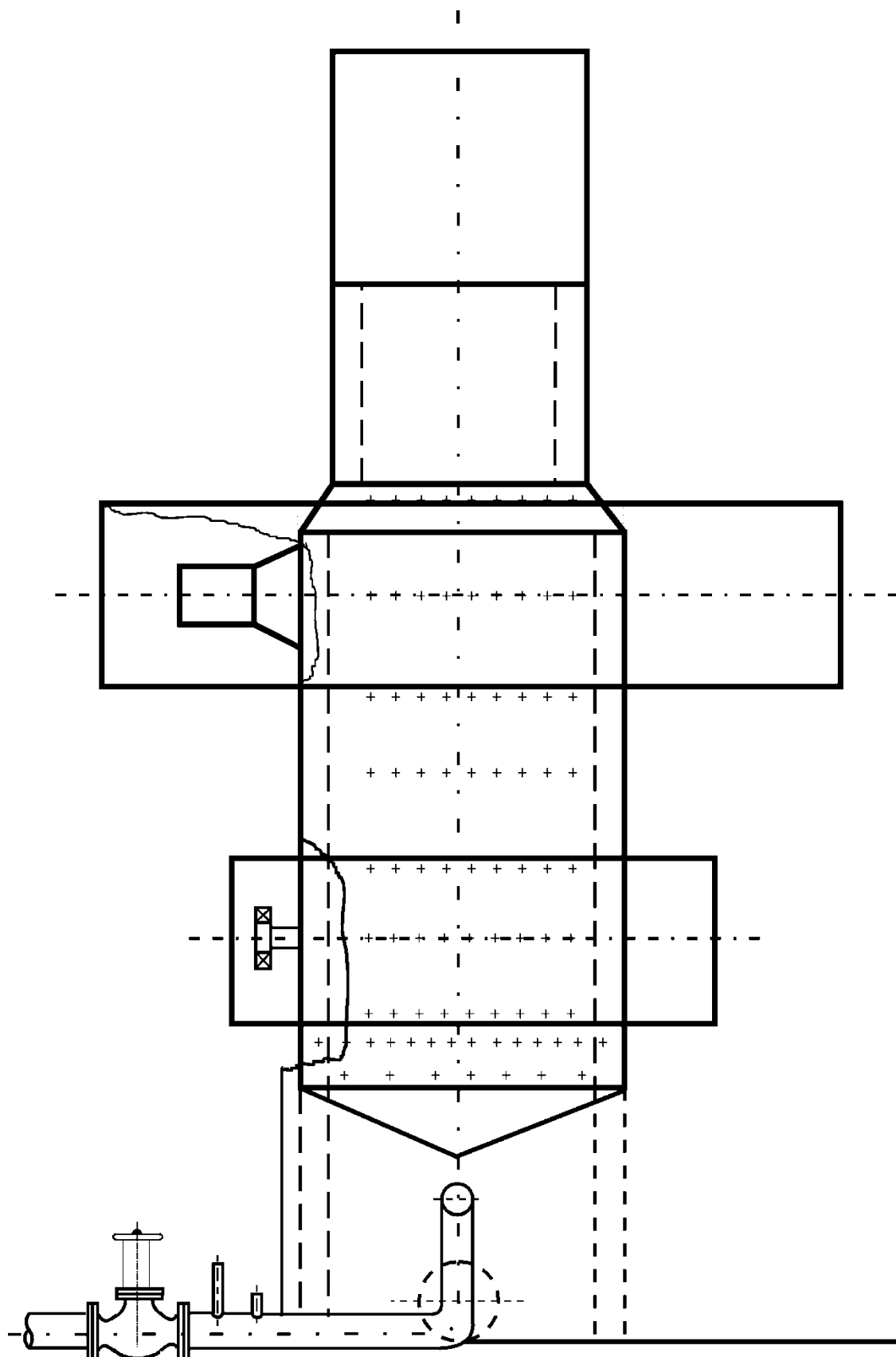


Рисунок 2.4 - Конструкція допалюючого пристрою

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		20

Специфічні умови роботи міні-ТЕЦ визначають особливості, що відрізняють їх від традиційних ТЕЦ. До них відносяться:

- орієнтація на конкретний локальний об'єкт енергопостачання до заданого графіка тепло- і електропостачання, часткою навантаження гарячого водопостачання. Тому при розрахунку споживання палива потрібен облік нерівномірності енергоспоживання в добовому розрізі, тижневому і сезонному розрізах;

- підвищені вимоги до якості палива і доцільність проектування на один вид палива - природний газ;

- відсутність необхідності спорудження розподільних пристроїв з підвищуючими трансформаторами. Близькість споживачів і мала потужність генераторів дозволяють здійснювати електропостачання на генераторній напрузі;

- розташування міні-ТЕЦ поблизу споживачів пред'являє підвищити вимоги щодо забезпечення екологічної безпеки.

Зазначені специфічні умови, в основному режимного характеру, вимагають від міні-ТЕЦ виконання досить жорстких вимог по надійному забезпеченню споживачів тепловою енергією. Ці вимоги забезпечуються комплексом заходів, що включають підвищення надійності окремих елементів і агрегатів систем теплопостачання, застосуванням різних способів резервування, зокрема функціонального і тимчасового. Прикладом реалізації цих способів підвищення надійності є використання баків-акумуляторів гарячої води (АГВ) на міні-ТЕЦ з ГТУ.

На рис. 2.5. приведена принципова схема ГТУ-ТЕЦ з АГВ. Об'єм бака-акумулятора визначається техніко-економічними розрахунками з урахуванням надійності окремих елементів ГТУ-ТЕЦ і режимів її роботи.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		21

Конкретний вибір розрахункової схеми ГТУ-ТЕЦ залежить від ряду факторів: величини приєднаного теплового навантаження та її структури, режимів теплоспоживання, кліматичних умов, необхідної надійності і т.д.

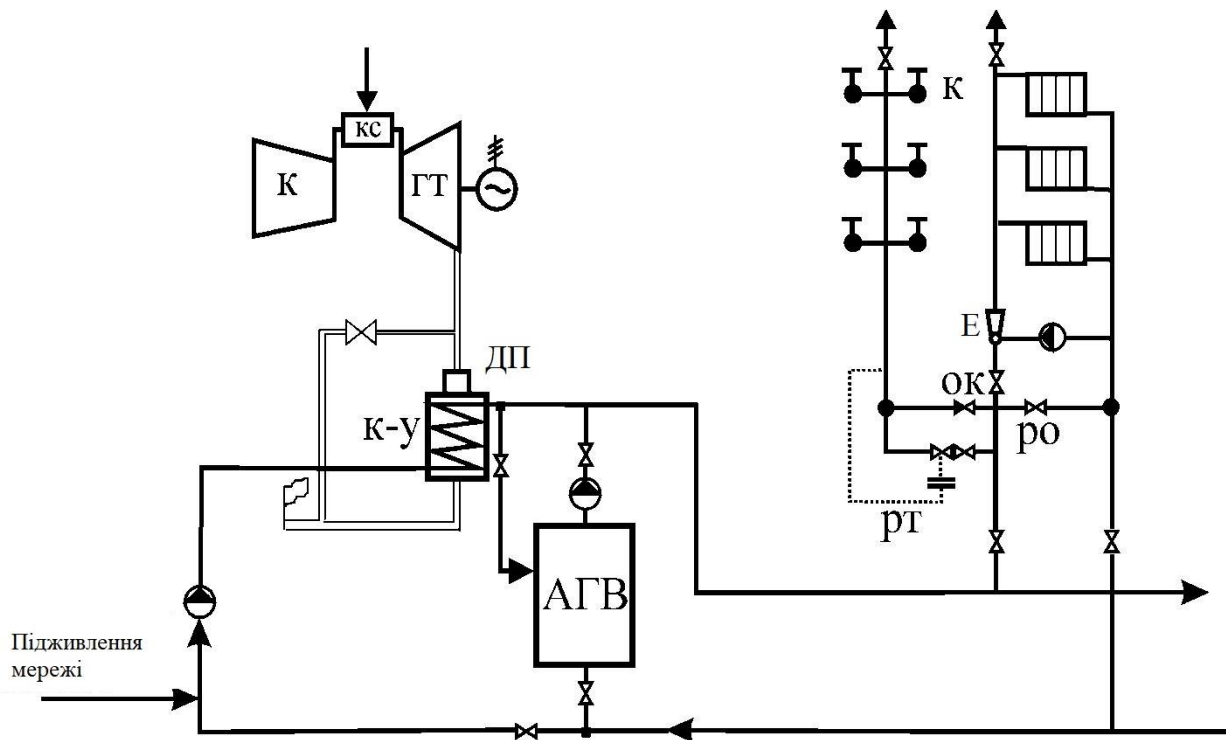


Рисунок 2.5 - Принципова схема міні-ТЕЦ з ГТУ і акумулятора гарячої води (АГВ)

Як зазначалося раніше, міні-ТЕЦ на базі теплофікаційних ГТУ отримали досить велике застосування для теплопостачання як комунально-побутових, так і промислових споживачів [22].

Так, наприклад, у міні-ТЕЦ електричною потужністю 49 МВт з агрегатами типу М6В, яка призначена для теплопостачання невеликого району, відпуск гарячої води здійснюється від котла-утилізатора, в якому температура вихлопних газів знижується від 525 °С до 90 °С при температурному графіку тепломережі 50/115 °С. При цьому коефіцієнт використання тепла палива перевищує 85%. Міні-ТЕЦ має в своєму складі бак-акумулятор гарячої води з розрахунковою температурою 95 °С і ємністю

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		22

10000 м3. Питомі капвкладення в міні-ТЕЦ склали 810 марок ФРН на 1 кВт (е). Структура капвкладень наступна: ГТУ-36%; котли-утилізатори і насоси - 12%; акумулятор - 5%; електрообладнання - 11%; автоматика - 4%; будівельна частина - 12%; проектування - 5%. Число годин роботи міні-ТЕЦ становить 3800 - 4000 при 120-150 пусках в рік. Аналіз експлуатаційної надійності міні-ТЕЦ показав її високу надійність. Коефіцієнт готовності ГТУ-ТЕЦ з відпуску електроенергії склав 95,7%, величина коефіцієнта готовності з відпуску тепла не вказана.

При високій потужності, помірних габаритах і вазі (табл. 2.1) енергоагрегат НК-14Е дозволяє створювати на його базі модульні міні-ТЕЦ.

При температурі зовнішнього повітря +15 °С агрегат має такі характеристики:

- електрична потужність - 9,5 МВт;
- витрата газів після ГТУ - 40,1 кг/с;
- температура газів після ГТУ - 477 °С;
- температура газів після котла-утилізатора - 120 °С;
- теплова потужність котла-утилізатора - 15,6 МВт.

При температурному графіку тепломережі 130/70 °С і розрахунковому приєднаному тепловому навантаженню 35 МВт (т), витрата мережної води склала 166,5 кг/с, при цьому діаметр трубопроводу прямої мережевої води склав 350 мм.

При розрахунковому річному відпуску тепла 94094 Гкал і корисному відпуску електроенергії 151400 МВт • год з урахуванням режимів теплоспоживання і кліматичних умов річна витрата палива склала 58452,5 т у.п.

Для покриття максимальних теплових навантажень передбачено спалювання додаткового палива в камері допалювання з максимальною потужністю 5,2 МВт. Витрата палива на додаткове спалювання склала 35,5 т у.п.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

Таблиця 2.1 - Основні характеристики газотурбінних установок малої та середньої потужності

Тип турбіни	Потужність, кВт	Рік випуску	ККД, %	Температура на вході в турб., °С	Температура на виході з турб., °С	Частота обертання, об/хв	Маса, тонн	Габаритні розміри			Вартість, тис. дол. США	Фірма виробник
								довжина, мм	ширина, мм	висота, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
GTM 7	5720	1995	29,3	1175	555	1500	4,5	3600	1100	1100	-	ABB
M7A-01	5720	1993	29,3	1175	575	1500	4,5	1100	1100	3600	2530	Kawasaki Heavy Ind.
GT 15	5909	1988	33,8	803	533	11500	0,8	1829	823	792	-	Hitachi Zosen
MF-61	5925	1989	28,7	-	496	13800	9,8	3800	2300	2900	-	Mitsubishi
ГТЭ-6	6000	-	30,5	-	410	8200	40	9350	3200	3790	-	ТМЗ
RA 165	6150	1992	32,5	1000	480	11085	50	11800	2800	3600	2250	Deutz MWM-Gastechnic
TG-Tornado	6250	1981	30,3	1000	471	11085	54,9	7925	2438	3200	2650	Steward&Stevenson
OGT6000	6300	1995	31,5	1015	420	3000	72,6	15240	3048	5486	2580	Orenda

Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата
-----	-----	---------	--------	------

КРБ 19-053.00.00.000ПЗ

Арк

24

2.2 Вибір розрахункових схем систем комбінованого теплопостачання

Проектовані системи теплопостачання повинні задовольняти ряд вимог: експлуатаційна надійність постачання споживачів електричною і тепловою енергією, безпека для навколишнього середовища, економічність і екологічна чистота.

На рис. 2.6 приведена принципова схема двотрубної (традиційної) схеми теплопостачання від крупної районної ТЕЦ.

Дана схема забезпечує централізоване опалення та гаряче водопостачання, однак, має ряд недоліків, що знижують очікувану економію палива від комбінованого виробництва тепла. До недоліків такої системи відносяться: значна витрата електроенергії на перекачування теплоносія по магістральних трубопроводах довжиною в десятки кілометрів; теплові втрати від зовнішнього охолодження магістральних трубопроводів і з витокami теплоносія, що досягають 20 %; зменшення питомого вироблення електроенергії на тепловому споживанні, внаслідок перевищення температури зворотної мережевої води над розрахунковою. Внаслідок розвитку міст районні ТЕЦ, що будувалися раніше на околиці міст, часто опиняються всередині міста. Аварійний вихід з ладу магістрального трубопроводу, що перекачує теплоносій з високим температурним потенціалом, призводить до неприпустимого екологічного збитку і виникнення небезпеки для проживання населення.

В останні роки теплопостачання нових районів, міст, що розвиваються, здійснюється від квартальних котелень, спалюючи в них природний газ. Однак такий спосіб викликає значну перевитрату палива у всій системі.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
						25
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

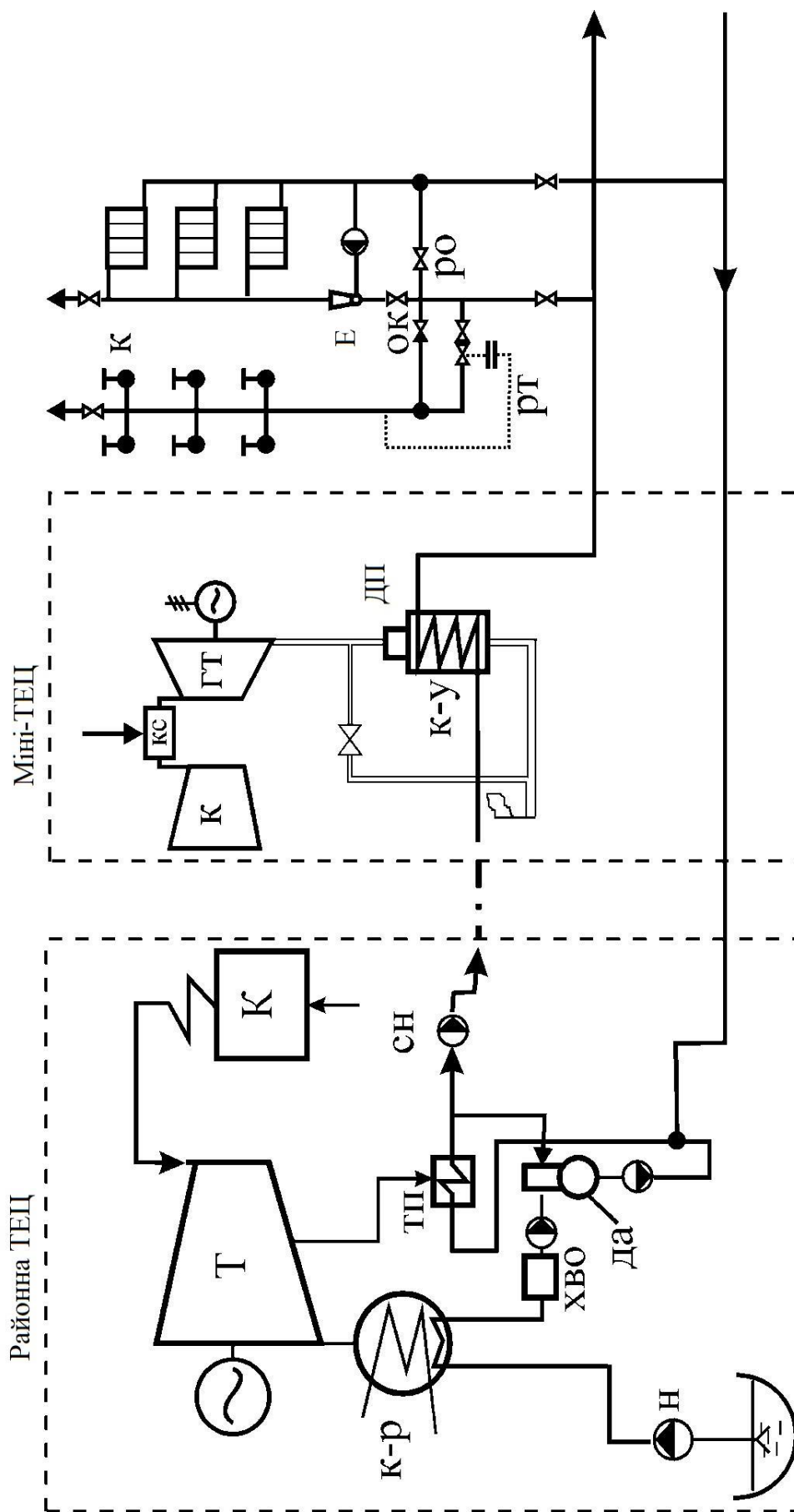


Рисунок 2.6 - Принципова схема теплопостачання від районної ТЕЦ.

Т - турбіна; К - котел; К-Р - конденсатор; Н - насос; ХВО - хімводоочищення; ТП - теплофікаційний підігрівач; ДА - атмосферний деаератор; МН - мережевий насос; ПК - пікова котельня;

РТ - регулятор температури; Е - ежектор; ЗК - зворотний клапан; к - кран

Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 19-053.00.00.000ПЗ

Арк

26

Новим вирішенням проблеми раціонального теплопостачання міст є модернізована двухтрубна схема комбінованого теплопостачання [23], представлена на рис. 2.7.

Переваги такої системи децентралізованого комбінованого виробництва тепла й електроенергії полягає в тому, що:

- комбіноване виробництво енергії виробляється одночасно на районній та кількох квартальних міні-ТЕЦ;

- базова частина теплового навантаження опалення та гарячого водопостачання покривається від районної ТЕЦ (РТЕЦ), що працює цілий рік;

- міні-ТЕЦ працюють тільки в холодний період року, коли потрібен догрів до більш високої температури мережевої води, що надходить від РТЕЦ;

- пікові котельні розташовуються на майданчиках міні-ТЕЦ і працюють тільки в найхолодніший період опалювального сезону.

Таким чином річний графік теплового навантаження розбивається на три частини (рис. 2.8); площа $A_{12} = Q_{\text{пiк}}$ - пікова котельня; площа $a_{23} = Q_{\text{MT}}$ на міні-ТЕЦ; площа $34n0b = Q_{\text{ГВ}} + Q_{\text{от}}$. При цьому 90% теплового навантаження покривається від РТЕЦ і міні-ТЕЦ. У цих умовах установка на міні-ТЕЦ пікових водогрійних котлів недоцільна. Покриття пікового теплового навантаження можна провести в котлах-утилізаторах (К-У).

Вирішальне значення по економії палива має лінія розділу теплового навантаження між РТЕЦ і міні-ТЕЦ. Лінія розділу теплового навантаження відповідає температурі води у мережі 80-90 °С. У роботі [10] оптимальне значення $P_{\text{тец}}$ визначено в межах 0,6 ... 0,8.

При створенні такої схеми зберігається двотрубна система магістральних трубопроводів. Міні-ТЕЦ в такій системі споруджуються на базі наявних теплових центрів зі збереженням всієї системи розводки мережевої води і її параметрів.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		27

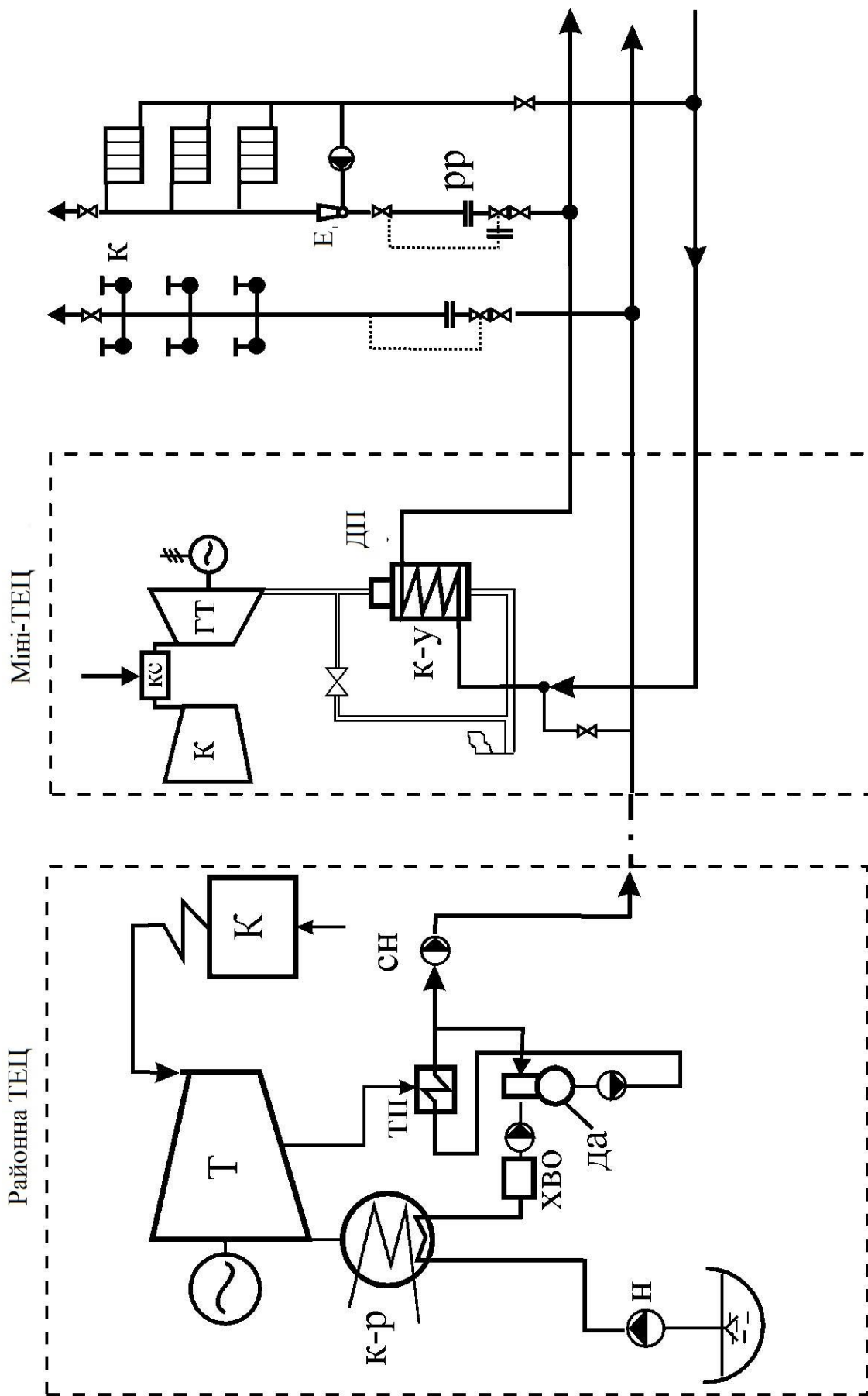


Рисунок 2.7 - Принципова схема теплопостачання з однотрубною магістраллю.

Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата

КРБ 19-053.00.00.000ПЗ

Арк

28

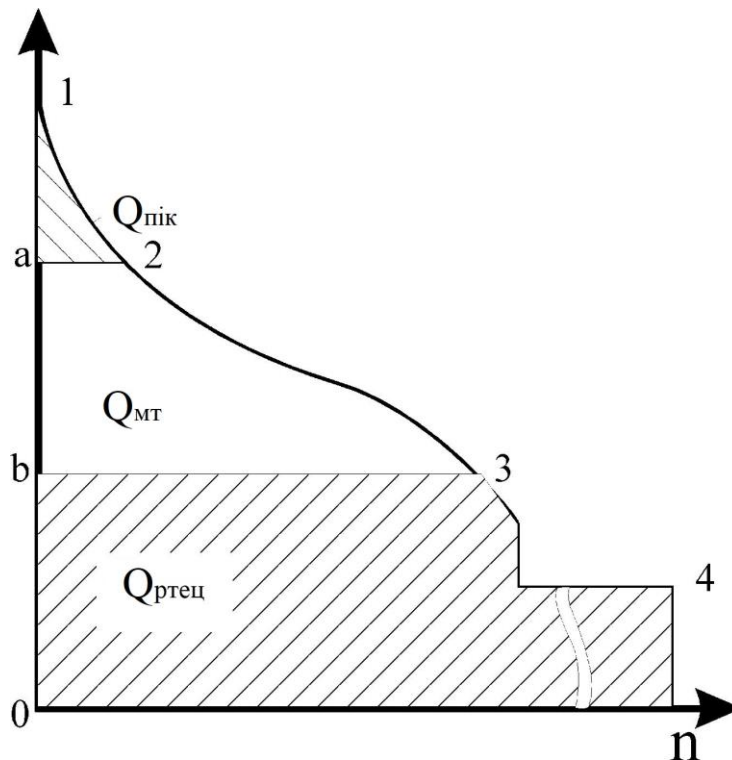


Рисунок 2.8 - Графік теплових навантажень за тривалістю, який покривається за схемою [23]

Однак при такій схемі $P_{\text{ТЕЦ}}$ розташовується поблизу міст і необхідне спалювання дорогого екологічно чистого палива. Турбіни $P_{\text{ТЕЦ}}$ повинні працювати по тепловому графіку навантажень або виконувати роздільне вироблення електроенергії з відповідними втратами.

Вплив багатьох з цих факторів можна усунути при здійсненні запропонованої в [7] комбінованої системи теплопостачання, представленій на рис. 2.9.

У цій схемі відпрацьованою парою турбін РТЕЦ протягом всього року нагрівається вода тільки для потреб гарячого водопостачання і підживлення тепломережі. Гаряча вода подається по однотрубній магістралі з температурою 65-70 °С безпосередньо споживачам. Опалювальне навантаження покривається від кварталних міні-ТЕЦ, що працюють тільки в опалювальний період.

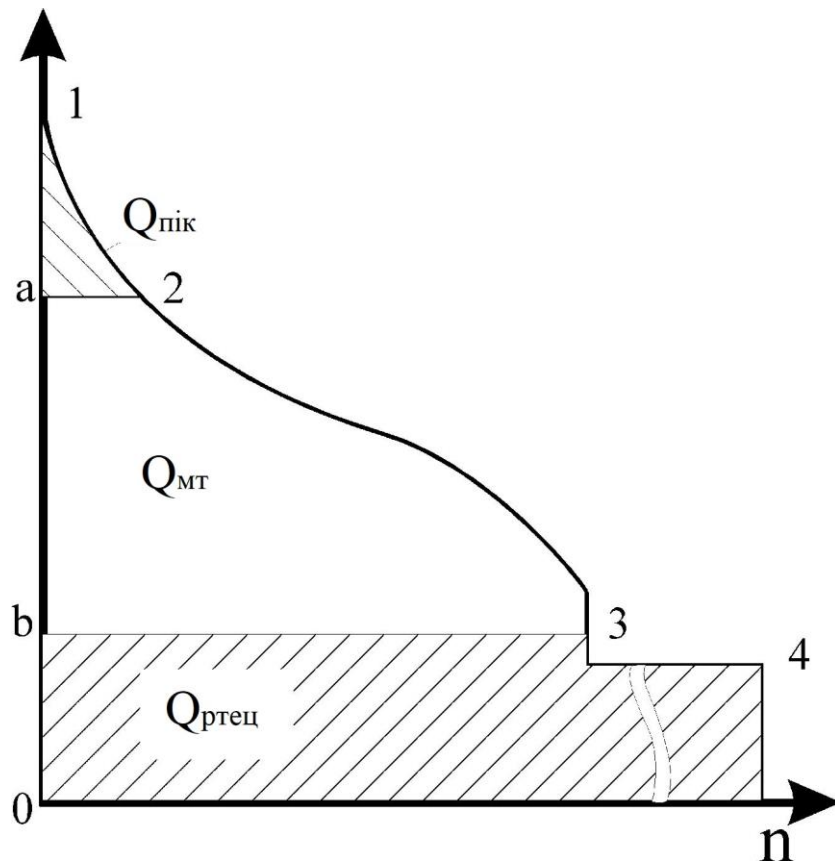


Рисунок 2.9 - Річний графік теплових навантажень за тривалістю

Кожна міні-ТЕЦ отримує хімоочищену воду на підживлення тепломережі і не витрачає хлоровану питну воду з міської мережі гарячого водопостачання. Застосування однотрубної транзитної магістралі для подачі гарячої води дозволяє районну ТЕЦ розташовувати на значній відстані від міста і спалювати на ній низькосортне тверде паливо. Зменшення приєднаної теплової потужності можна компенсувати підключенням додаткових районів міста.

Спорудження міні-ТЕЦ на майданчиках існуючих котелень поліпшить екологічний стан внаслідок того, що міні-ТЕЦ працюють тільки в зимовий період часу, коли при низькій температурі зовнішнього повітря розсіююча здатність шкідливих речовин в атмосфері, поліпшується.

На рис. 2.9 показаний річний графік тепlopостачання схеми з однотрубною магістралі. Графік теплового навантаження також розбивається

на три частини площа $A_{12} = Q_{\text{пк}}$ - пікова котельня; площа $ba_{23} = Q_{\text{мт}}$ на міні-ТЕЦ; площа $34n0b = Q_{\text{гв}}$.

Очевидно, що в кожних конкретних умовах може виявитися найбільш вигідною та чи інша з перерахованих вище схем.

2.3 Висновки до розділу

1. Наведено опис характеристик зарубіжних і вітчизняних ГТУ, що випускаються для ТЕЦ

2. Представлено принципові схема міні-ТЕЦ з ГТУ та проведено їх порівняння.

3. За початковий варіант можна прийняти систему роздільного вироблення необхідної кількості електроенергії на КЕС і тепла в місцевій котельні. У кожному варіанті споживачі повинні отримувати однакову кількість електроенергії $E_{\text{п}}$ і тепла $Q_{\text{п}}$. При цьому кожна з порівнюваних схем повинна мати оптимальні режими роботи.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		31

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок міні-ТЕЦ в умовах змінних режимів роботи

Теплова економічність міні-ТЕЦ залежить від великого числа різнорідних чинників. Їх можна поділити на кілька груп:

- величина розрахункових теплових навантажень, тип теплофікаційної системи, температурний графік тепломережі;
- кліматичні чинники;
- режимні фактори;
- конструктивні фактори.

Величина розрахункового приєднаного теплового навантаження є основним вихідним показником при проектуванні міні-ТЕЦ, що визначає вибір складу і одиничної потужності основного устаткування. Важливе значення при цьому має і частка розрахункового навантаження гарячого водопостачання. Електрична потужність міні-ТЕЦ і величина річного виробітку електроенергії зазвичай є для міні-ТЕЦ похідними факторами, залежними від рівня теплових навантажень. Певний вплив на вибір складу основного обладнання та характеристик міні-ТЕЦ здійснює і тип теплофікаційної системи і температурний графік тепломережі.

Так як задані теплові навантаження міні-ТЕЦ можуть бути покриті при різному складі основного обладнання, його потужності, параметрах і конструктивних характеристиках, то завдання вибору складу основного обладнання є багатоваріантним. Оптимальний тип і склад обладнання повинен визначатися техніко-економічними розрахунками за

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Золотницький А.В.</i>			3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Зінь М.М.</i>					32	
<i>Консульт.</i>		<i>Зінь М.М.</i>				<i>гр.ЕТЗс-42, ФПТ, ТНТУ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Вакуленко О.О.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Тарасенко М.Г.</i>						

середньорічними показниками теплової економічності, з урахуванням вартості обладнання, річного виробітку теплової та електричної енергії, тарифів на електричну та теплову енергію на регіональному ринку, форм і джерел фінансування будівництва міні-ТЕЦ. Необхідним елементом вирішення цієї складної багатофакторної оптимізаційної задачі є визначення річних інтегральних показників теплової економічності для кожного варіанта складу основного обладнання міні-ТЕЦ. Ці показники в свою чергу тісно пов'язані з низкою конструктивних, кліматичних і режимних факторів, зокрема, з тривалістю роботи міні-ТЕЦ на протязі року в режимі теплопостачання, тривалістю опалювального періоду, тривалістю стояння температур зовнішнього повітря за цей період, що відповідає кліматичним умовам району розташування станції. З іншого боку, значний інтерес представляє аналіз характеру зміни показників міні-ТЕЦ і її елементів в залежності від ряду зовнішніх чинників, головними з яких є температури зовнішнього повітря, співвідношення між розрахунковим тепловим навантаженням і навантаженням гарячого водопостачання.

З огляду на велику кількість факторів, що впливають на теплову економічність міні-ТЕЦ, для визначення її характеристик потрібне застосування методів математичного моделювання з використанням основних закономірностей технічної термодинаміки і теплопередачі.

Математична модель розрахунку показників теплової економічності газотурбінної міні-ТЕЦ заснована на погодинному розрахунку величини приєднаного теплового навантаження, температурного графіка тепломережі і відповідної температури зовнішнього повітря з подальшим визначенням характеристик газотурбінних установок і котлів-утилізаторів.

Інтегральні річні показники вироблення електричної і теплової енергії, витрата палива на ГТУ і пікові котли розрахунку знаходяться підсумовуванням результатів погодинних показників.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		33

На рис. 3.1 і 3.2 приведені характерний температурний графік тепломережі газотурбінної міні-ТЕЦ і графік теплових навантажень за тривалістю для кліматичних умов міста Тернополя. Ці дані використовувалися при визначенні річних витрат палива в конкретних техніко-економічних розрахунках.

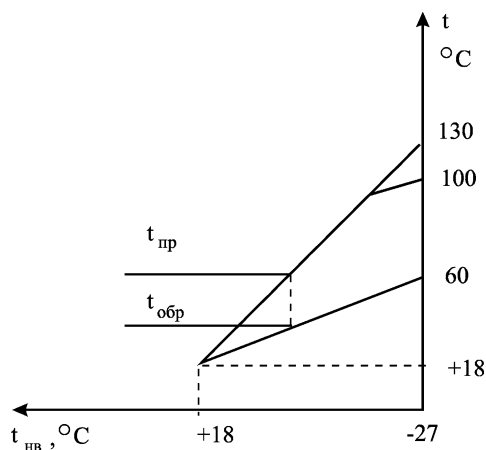


Рисунок 3.1 - Температурний графік тепломережі

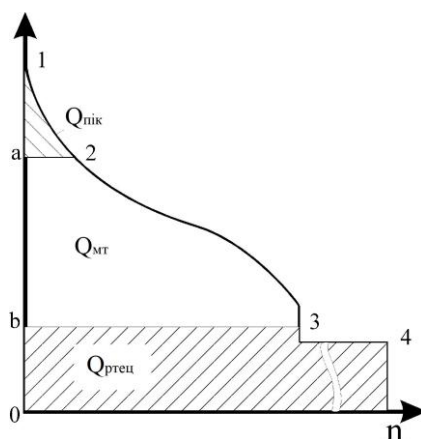


Рисунок 3.2 - Графік теплових навантажень за тривалістю

При розробці математичної моделі залежності температури прямої та зворотної мережевої води від температури зовнішнього повітря апроксимували лінійними функціями. Для температурного графіка 130/70 °С отримано:

в діапазоні температур зовнішнього повітря -27 °С до -9,5 °С

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		34

$$t_{\text{пр}} = -3,43 \cdot t_{\text{нв}} + 37,4, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.1)$$

$$t_{\text{обр}} = -1,7831 \cdot t_{\text{нв}} + 22,184, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.2)$$

в діапазоні температур зовнішнього повітря $-9,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $+8 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$t_{\text{пр}} = \text{const} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.3)$$

$$t_{\text{обр}} = \text{const} = 39 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.4)$$

Тривалість стояння температур зовнішнього повітря має нелінійний характер. Для умов Тернополя криву річного графіка споживання зручно апроксимувати двома відрізками

- при $\tau = 0 \div 4650$ годин (тривалість опалювального періоду)

$$Q_{\text{от}}(\tau) = \exp\left(-25,618 \cdot 10^{-12} \cdot \tau^3 + 175 \cdot 10^{-9} \cdot \tau^2 + 483,28 \cdot 10^{-6} \cdot \tau\right), \quad (3.5)$$

- при $\tau = 4650 \div 8760$ годин

$$Q_{\text{от}}(\tau) = Q_{\text{ГВС}} \cdot \quad (3.6)$$

До математичної моделі міні-ТЕЦ пред'являлися наступні вимоги:

1. Орієнтація на ГТУ-ТЕЦ з водогрійними котлами-утилізаторами з допалюванням палива.

2. Можливість варіювання вихідних даних:

Характеристиками газової турбіни:

- початковою температурою газу перед газовою турбіною t_3 ;
- вихідним (при $t_{\text{нв}} = +15 \text{ } ^\circ\text{C}$) ступенем підвищення тиску в компресорі;
- вихідною витратою повітря через компресор (при $t_{\text{нв}} = +15 \text{ } ^\circ\text{C}$); ;
- видом палива (рідке або газ);
- теплотворною здатністю палива;
- об'ємним складом продуктів згоряння;

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		35

- внутрішніми відносними ККД компресора і турбіни;
- параметрами атмосферного повітря;
- опором окремих ділянок газоповітряного тракту (на вході в компресор, на ділянці компресор - газова турбіна, на вихлопі газової турбіни, включаючи котел-утилізатор).

3. Структурною схемою і конструкторським виконанням агрегатів:

- ГТУ в одновальному виконанні;
- ГТУ з силовою турбіною.

Система підготовки паливного газу і розрахунок споживаної потужності дожимного компресора.

4. Відповідність принципам структурного програмування.

Опис алгоритму розрахунку одиничних та інтегральних показників паливної економічності та характеристик основного обладнання міні-ТЕЦ наведені нижче.

У блок вихідних даних належать такі величини, що задаються в розрахункових дослідженнях:

- число ГТУ на міні-ТЕЦ n ;
- число годин роботи міні-ТЕЦ за рік τ , год / рік;
- розрахункове теплове навантаження міні-ТЕЦ $Q_{от}$, МВт;
- розрахункова температура прямої мережевої води $t_{пр}$, °С;
- розрахункова температура зворотної мережевої води $t_{об}$, °С;
- вид палива: рідке або газ;
- теплота згоряння палива, Q_H^p кДж/кг (мЗ);
- температура газу перед турбіною $t_{нв}$, °С;
- витрата повітря через компресор (по ISO) G_k , кг/с;
- ступінь підвищення тиску в компресорі π_k ;

Блок-схема алгоритму і програми розрахунку показників міні-ТЕЦ приведена на рис. 3.3. Після введення вихідних даних вони виводяться на екран дисплея для перегляду.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		36

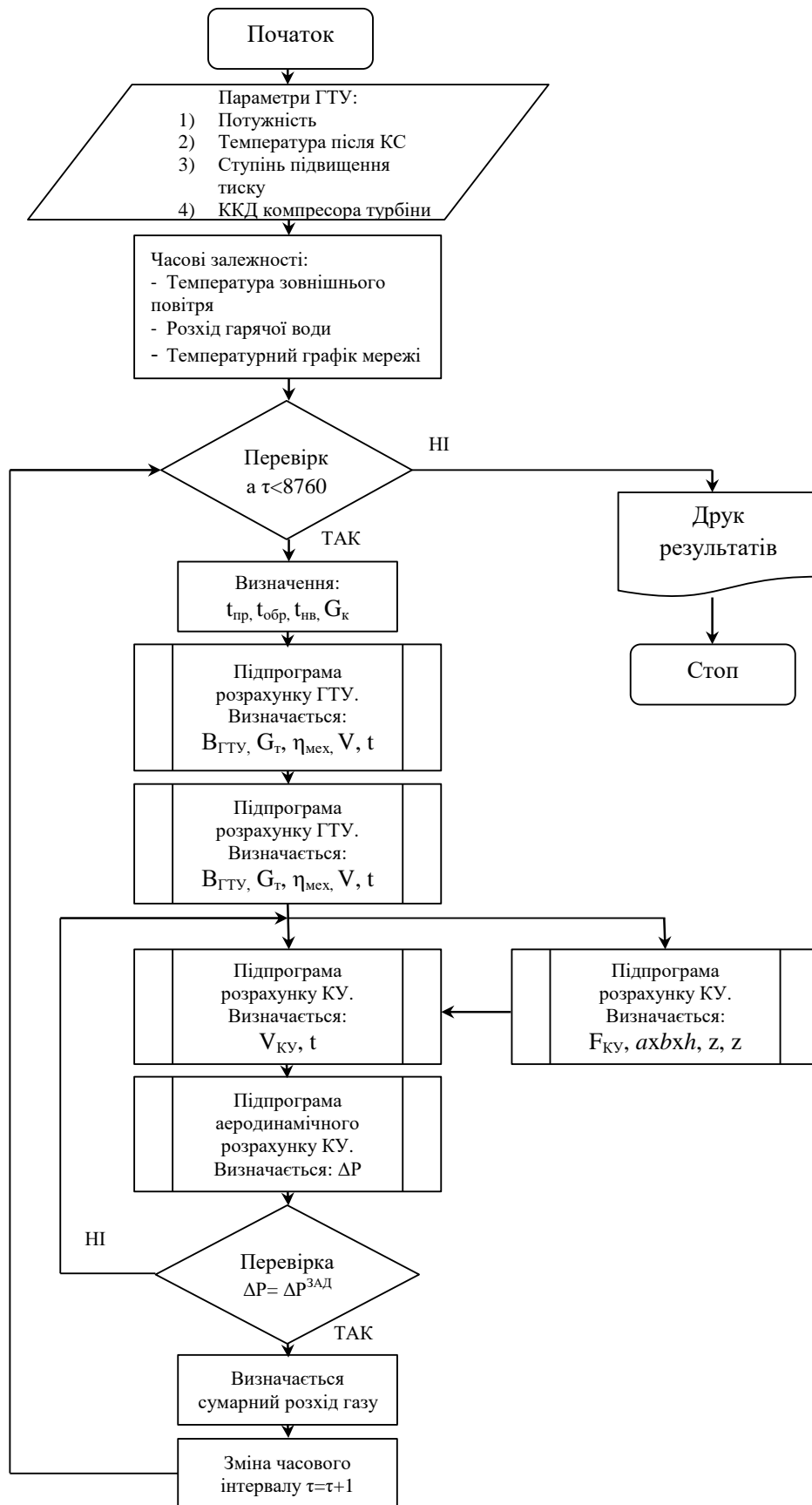


Рисунок 3.3 - Блок-схема алгоритму розрахунку характеристик теплофікаційних ГТУ

Далі проводиться визначення витрат мережевої води $G_{от}$ на опалення і вентиляцію $G_{вен}$ за даними розрахункового режиму при розрахунковій температурі зовнішнього повітря.

$$G_{от} = \frac{Q_{от}}{C_p \cdot (t_{пр} - t_{об})}; G_{вен} = \frac{Q_{вен}}{C_p \cdot (t_{пр} - t_{об})}. \quad (3.7)$$

Задається розрахункова температура зовнішнього повітря для котла-утилізатора і відповідно їй температури прямої та зворотної мережевої води. При цій температурі зовнішнього повітря за спеціальною підпрограмою визначається температура газів за газовою турбіною t_{yx} , і їх витрата G_{yx} через котел-утилізатор. Крім того, визначається вміст кисню у вихідних газах після газової турбіни.

Розрахунок параметрів циклу ГТУ на номінальному режимі по відомій температурі зовнішнього повітря (+15 °С), ступеня підвищення тиску, ККД турбіни і ОК, потужності ГТУ і температурі після КС полягає у визначенні параметрів стану робочого тіла в реперних точках термодинамічного циклу і таких показників ГТУ, як витрата паливного газу, витрата повітря і ККД ГТУ.

Розрахунок проводиться в такій послідовності.

1. Задається температура повітря після компресора t_2 ;
2. Середня температура в компресорі: $t_k = 0,5 \cdot (t_0 + t_2)$;
3. За окремою підпрограмою визначаються теплофізичні параметри повітря при температурі t_k (ентальпія h і ізобарна теплоємність c_p).

4. Питома робота компресора

$$l_k = c_p \cdot \frac{t_1 + 273}{\eta_k} \cdot (\pi_k^{m_k} - 1), \quad (3.8)$$

де $m_k = (k_B - 1)/k_B$, $k_B = c_{pB}/c_{vB}$ η_k - ККД компресора.

5. Перевірка заданої температури t_2 :

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		38

$$t_2^1 = t_1 + l_k / c_p, \quad |t_2^1 - t_2| \leq 0,5. \quad (3.9)$$

6. Ступінь зниження тиску газу в турбіні: $\pi_T = \pi_K \cdot v$, де $v = \frac{(1 - \Delta_1)(1 - \Delta_2)}{(1 + \Delta_3 + \Delta_4)}$, $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ - відносні втрати тиску на вході в компресорі, в камері згоряння, на вихлопі турбіни, в КУ відповідно. Значення втрат тиску спочатку задаються, а далі перевіряються.

7. Задається температура газів після турбіни t_4 ;

8. Середня температура газу в турбіні: $t_T = 0,5 \cdot (t_3 + t_4)$;

9. За окремою підпрограмою визначаються теплофізичні параметри продуктів згоряння при температурі t_T (ентальпія h і ізобарна теплоємність c_p).

Температура повітря в кінці процесу стиснення:

$$T_{2d} = T_1 \left[1 + \left(\frac{k_B - 1}{\pi_K^{k_B}} - 1 \right) / \eta_K \right], \quad (3.10)$$

де η_K - ККД осевого компресора (прийнятий попередньо рівним 0,84);

k_B - показник адиабати для повітря,

π_K - розрахункова ступінь підвищення тиску в компресорі (π_K приймається номінальною, або оцінюється по зміні числа обертів від $n_{\text{НОМ}}$)

$$\frac{n}{n_{\text{НОМ}}} = \frac{\pi_K}{\pi_{K\text{НОМ}}}; \quad (3.11)$$

$$\frac{k_B - 1}{k_B} = m_B. \quad (3.12)$$

Питома робота, витрачена на стиск 1 кг повітря в компресорі, запишеться у вигляді:

$$l_K = \frac{1}{\eta_K} \cdot c_{pB} \cdot T_1 \cdot (\pi_K^{m_B} - 1). \quad (3.13)$$

Температура газів на вході в газову турбіну:

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		39

$$T_{3d} = T_{4t} \pi^{m_{\Gamma}}, \quad (3.14)$$

де $m_{\Gamma} = \frac{k_{\Gamma} - 1}{k_{\Gamma}}$, $k_{\Gamma} = c_{p\Gamma} / c_{v\Gamma}$ - показник адіабати димових газів (робочого тіла ГТ); $c_{p\Gamma}$, $c_{v\Gamma}$ - відповідно теплоємність продуктів згорання при постійному тиску і об'ємі.

При заданих π_{κ} і T_3 визначаються $\lambda_1 = P_{3t} / P_2$ - коефіцієнт втрат в повітряному тракті і КС; $\lambda_2 = P_1 / P_4$ - коефіцієнт втрат у всмоктуючому (компресор) і вихідному (турбіна) трактах ГТУ,

$$\delta = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \pi_{\kappa}. \quad (3.15)$$

Тоді, попередньо:

$$T_{4d} = T_{3d} \left[1 - \left(1 - \pi_{\Gamma}^{-m_{\Gamma}} \right) \eta_{\Gamma} \right], \quad (3.16)$$

де η_{Γ} - внутрішній відносний ККД турбіни.

Робота розширення 1 кг робочого тіла в турбіні:

$$l_{\Gamma} = \eta_{\Gamma} \cdot c_{p\Gamma} \cdot T_{3d} \cdot \left(1 - \pi_{\Gamma}^{-m_{\Gamma}} \right). \quad (3.17)$$

Уточнюються коефіцієнти надлишку повітря α і кількість тепла; підводиться в камері згорання

$$\alpha = \frac{\left(Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \eta_{\text{КС}} - Q_{\text{C}} \right)}{L_0 \cdot Q_{\text{КС}}}, \quad (3.18)$$

де Q_{H}^{P} - нижча робоча теплота згорання паливного газу, кДж / кг (визначається за складом або береться за довідником);

$\eta_{\text{КС}}$ - ККД камери згорання;

L_0 - теоретично необхідна кількість повітря для повного згорання 1 кг паливного газу, кг/кг.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		40

У загальному випадку для ГТУ кількість тепла, передану паливному газу в КС визначають за формулою:

$$Q_c = h_3 - h_{\text{ТП}} - (h_{4d} - h_{2d}^{\text{П}}), \quad (3.19)$$

де h_3 - ентальпія продуктів згоряння, кДж/кг (визначається по T_3 і складу);

$h_{\text{ТП}}$ - ентальпія паливного газу на вході КС, кДж/кг (оцінюється по температурі і складу паливного газу);

h_{4d} - ентальпія продуктів згоряння на вихлопі ГТ (визначається по T_{4d} і складу);

$h_{2d}^{\text{П}}$ - ентальпія продуктів згоряння при температурі повітря T_{2d} (визначається при температурі T_{2d} і складу).

Кількість тепла, передана повітрю в КС:

$$Q_{\text{КС}} = h_3 - h_{2d} - (h_{4d} - h_{2d}^{\text{П}}), \text{ кДж/кг} \quad (3.20)$$

де h_{2d} - ентальпія повітря після компресора, кДж/кг.

Ступінь підвищення тиску в дожимному компресорі визначається за формулою [22]

$$\pi_{\text{ГК}} = \frac{2 \cdot \pi_{\text{К}} \cdot \lambda_2}{\psi}, \quad (3.21)$$

де $\psi = P_{\text{ГП}}/P_1$ - відношення тиску в газопроводі, що підводиться і тиску в т.1 циклу.

Питома робота дожимного компресора

$$l_{\text{ГК}} = \frac{c_{\text{рГ}} \cdot T_{1\text{Г}} \cdot \chi}{\eta_{\text{ГК}}} (\pi_{\text{ГК}}^{m_{\text{Г}}} - 1), \quad (3.22)$$

де $\eta_{\text{ГТ}}$ - ККД дожимного компресора; $\chi = (1 - g_{\text{охл}} - g_{\text{ут}}) / (\alpha_{\text{КС}} \cdot L_0)$;

$g_{\text{охл}}$, $g_{\text{ут}}$ - питомі витрати витоків і охолодження;

$T_{1\text{Г}}$ - температура паливного газу перед дожимним компресором, К.

Внутрішній ККД ГТУ

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		41

$$\eta_i = \frac{(l_T - l_K - l_{ГК}/\eta_p)}{q_1} \quad (3.23)$$

де η_p - ККД редуктора (якщо є); q_1 - питома кількість тепла, підведеного в камері згоряння ГТУ.

Витрата газу через турбіну (з рівняння потужності ГТУ, без урахування охолодження повітрям):

$$G_T = N_e / l_e, \quad (3.24)$$

де $l_e = l_T \cdot \eta_{мех} - b \cdot l_K$ - ефективна робота;

$\eta_{мех} = 0,98 \dots 0,99$ - механічний ККД;

$$b = \frac{\alpha L_0 (1 + \alpha_y)}{1 + \alpha L_0};$$

$\alpha_y = 0,005 \dots 0,02$ - коефіцієнт, що враховує додаткові витоки повітря через ущільнення турбіни.

Витрата повітря, що подається компресором:

$$G'_K = G_K (1 + \alpha_y) = b \cdot G_T. \quad (3.25)$$

Росхід палива :

$$B_{КС}^{ГТ} = \frac{G_T}{1 + \alpha L_0}. \quad (3.26)$$

Потужність, що розвивається газовою турбіною:

$$N_T = G_T \cdot l_T \cdot \eta_{мех}. \quad (3.27)$$

Потужність, споживана компресором (механічні втрати віднесені до турбіни):

$$N_K = G'_K \cdot l_K. \quad (3.28)$$

Коефіцієнт корисної роботи:

$$\varphi = \frac{N_e}{N_T} = 1 - \frac{b \cdot l_K}{l_T \cdot \eta_{мех}}. \quad (3.29)$$

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		42

Ефективний ККД ГТУ:

$$\eta_e = \frac{G_T \cdot l_e}{B \cdot Q_H^P} = \frac{l_e}{Q_e}, \quad (3.30)$$

$$\text{де } Q_e = \frac{Q_H^P}{1 + \alpha L_0}.$$

Далі проводиться розрахунок одиничних та інтегральних характеристик міні-ТЕЦ. Розрахунки в циклі починаються з визначення температури атмосферного $t_{\text{нв}}$ повітря відповідного поточній порі року τ . Добовий хід температур визначений за даними багаторічних спостережень метеостанції для умов м. Тернополя, показаний на рис. 3.4.

Для кліматичного району м. Тернополя хід зміни температур зовнішнього повітря був апроксимований з використанням програмного продукту MathCAD тригонометричною залежністю:

$$\text{— середньодобовою } \bar{t}_{\text{нв}\tau} = A \cdot \cos\left(2n \frac{\pi}{365} + \pi\right) + \bar{t}_{\text{год}},$$

де A - амплітуда річної температури,

$\bar{t}_{\text{год}}$ - середньорічна температура,

n - номер доби в році;

$$\text{— середньогодинний } \bar{t}_{\text{нв}\tau} = A_1 \cdot \cos\left(2\tau \frac{\pi}{24} + \pi\right) + \bar{t}_{\text{год}},$$

де A_1 - амплітуда середньодобової температури, визначається окремо для ясних і похмурих днів: $A_1 = 5$ (ясно), $A_1 = 3$ (похмуро),

τ - номер години доби.

Похибка апроксимації не перевищує $0,3$ °С, що цілком допустимо для технічних розрахунків.

Після завершення кожного циклу поточне значення часу збільшується на годину - заданий часовий інтервал. Перевіряється умова $t_{\text{нв}} > 8$ °С, при його

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		43

$$k_v = k_F \cdot F/V, \quad (3.32)$$

де k_F - коефіцієнт теплопередачі на одиницю поверхні кДж/(с · м² · К);

F/V - коефіцієнт компактності.

У циклі проводиться порівняння теплового навантаження яке може покрити на цьому режимі котел-утилізатор, $Q_{ут}$, і теплового навантаження $Q_{от}$. Якщо $Q_{от} > Q_{ут}$, то розраховується додаткова кількість допалюючого палива $V_{дж}$. Виробляються ітераційні розрахунки по уточненню фактично досягнутого навантаження котла-утилізатора і його характеристик - коефіцієнта теплопередачі, середнього температурного напору, температури відхідних газів.

Витрата умовного палива в камеру згоряння ГТУ

$$B_{КС}^{ГТ} = \frac{0,123 \cdot N_9^{ГТ}}{\eta_9^{ГТ}}. \quad (3.34)$$

Надалі для кожної поточної величини τ визначається відповідна їй температура зовнішнього повітря $t_{зв}$, розраховуються характеристики ГТУ і котла-утилізатора, порівнюється його навантаження з поточним тепловим навантаженням $Q_{от}$. Якщо $Q_{ку} > Q_{от}$, то проводиться визначення сумарного навантаження КУ. Перевіряється умова - чи виявилася поточна температура $t_{зв} < 8$ °С, якщо так, то теплове навантаження міні-ТЕЦ складається з навантажень опалювальної $Q_{от}$ і вентиляційної $Q_{вент}$. Розраховуються температури прямої та зворотної мережевої води, сумарна теплове навантаження міні-ТЕЦ $Q_{ку}$, характеристики котла-утилізатора. Потім йде ряд перевірок умов, що дозволяють уточнити для поточних режимів навантаження, що покривається за допомогою допалювання додаткового палива в допалюючому пристрої КУ, питомих витрат палива на електричну і теплову енергію. Для малих тимчасових інтервалів визначаються сумарні показники по виробленню електричної і теплової енергії та відповідної витрати палива. Ці циклічні розрахунки повторюються аж до досягнення

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		45

часу τ опалювального періоду. Після цього ведеться накопичення сум за окремими тимчасовими інтервалами і розраховуються річні показники роботи міні-ТЕЦ - вироблення електроенергії, теплової енергії за заданим графіком теплових навантажень, в тому числі котлами-утилізаторами, річні витрати палива в камеру згоряння турбіни і на допалюючі пристрої, середньорічні питомі витрати умовного палива. Середньоінтегральні річні показники, що характеризують роботу міні-ТЕЦ виводяться на друк.

За підсумками вищевикладеного алгоритму була розроблена і реалізована на ЕОМ програма розрахунку показників теплової економічності газотурбінної міні-ТЕЦ. З використанням цієї програми проведено ряд чисельних експериментів, які дозволили виявити ряд закономірностей і проаналізувати вплив різних чинників як на одиничні, так і на інтегральні характеристики міні-ТЕЦ. У процесі розрахунків аналізувався вплив на показники теплової економічності і режимні параметри рівня розрахункових теплових навантажень, складу основного обладнання станції, технічних характеристик газотурбінних установок, сезонної зміни поточної температури атмосферного повітря. Розрахунки проведені для кліматичних умов міста Тернополя стосовно міні-ТЕЦ із закритою тепломережею з розрахунковим температурним графіком 130/70 °С. Розрахунки проводилися для міні-ТЕЦ з вітчизняними енергетичними газотурбінними установками: ГТД-2500А, НК-14Е, створеної на базі авіадвигуна НК-14; ГТУ-8,5. Приєднане розрахункове теплове навантаження Q склало 50 МВт.

Склад основного обладнання електростанції включає газотурбінні агрегати і водогрійні котли-утилізатори з допалюванням палива. У розрахунках для міні-ТЕЦ тепловою потужністю 50 МВт використані дані ГТУ, наведені в табл.3.1.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		46

Таблиця 3.1 - Характеристики ГТУ при $t_{\text{нв}} = +15 \text{ }^\circ\text{C}$

Характеристики	ГТД-2500А	НК-14Э	ГТУ-8,5
1. Температура газу перед турбіною $t_3, \text{ }^\circ\text{C}$	1147	1023	1040
2. Ступінь підвищення тиску в компресорі π_k	25	9,5	8,8
3. Витрата повітря через компресор $G, \text{ кг/с}$	93	31,5	39
4. Електрична потужність, МВт	28,7	9,5	8,5

Характеристики котла-утилізатора:

- розрахункова температура зовнішнього повітря для $t = -27 \text{ }^\circ\text{C}$;
- розрахункова температура відхідних газів за $t_{\text{yx}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$;
- максимальна температура мережевої води $t_{\text{пр}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$;

У розрахунках характеристик міні-ТЕЦ так само прийнято:

- розрахункова температура зовнішнього повітря $t_{\text{зв}} = -27 \text{ }^\circ\text{C}$;
- розрахункова частка вентиляційної навантаження 0,05;
- розрахункова температура для вентиляції $t_{\text{вент}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$;

Розрахунок поточних характеристик ГТУ-ТЕЦ проводився для всього діапазону зміни температур зовнішнього повітря - від $+8$ до $-27 \text{ }^\circ\text{C}$, відповідного повного часу роботи міні-ТЕЦ за опалювальний період. Розрахунок вівся для режимів, що відрізняються на часовий інтервал в 1 годину. Таким чином, при $\tau = 4650$ годин повне число розрахованих режимів становило 4650. Для кожного з цих режимів визначалося вироблення

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		47

електричної і теплової енергії. Надалі, при визначенні середньоінтегральних річних значень вироблення енергії на міні-ТЕЦ вироблялося підсумовування

$$\mathcal{E}_{\text{Год}} = \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_i \quad \text{и} \quad Q_{\text{Год}} = \sum_{i=1}^m Q_i. \quad (3.37)$$

Для аналізу динаміки зміни показників роботи ГТУ на екран дисплея виводиться інформація про їх значення через кожні 500 годин. Це дозволяє побудувати графічні залежності характеристик ГТУ-ТЕЦ.

У момент початку опалювального сезону $t_{\text{зв}} = + 8 \text{ } ^\circ \text{C}$ включається одна ГТУ з КУ. Сумарна тепла потужність КУ виявляється надлишковою $Q_{\text{от}} = 3913,6 \text{ кВт (т)} < Q_{\text{ку}} = 5211,33 \text{ кВт (т)}$, тому частина газів байпасірується. Це призводить до різкого зростання питомих витрат палива на вироблювану електричну b_e і теплову енергію b_t . При зниженні температури зовнішнього повітря до $t_{\text{зв}} = + 2 \text{ } ^\circ \text{C}$ теплове навантаження $Q_{\text{от}}$ порівнюється з $Q_{\text{ку}}$, а потім починає її перевищувати. В цей час в роботу вводиться допалюючий пристрій, навантаження якого $Q_{\text{дж}} = Q_{\text{от}} - Q_{\text{ку}}$ визначається дефіцитом теплової потужності котла-утилізатора. Період часу, протягом якого виробляється допалювання додаткового палива в КУ до моменту пуску другого енергоагрегату, залежить від співвідношення вартості допалюючого палива і капіталовкладень в енергоустановку.

У міру зниження температури зовнішнього повітря відбувається зміна характеристик газотурбінного агрегату - збільшується витрата відхідних газів $G_{\text{ух}}$ після турбіни, збільшується електрична потужність $N_{\text{ГТУ}}$, теплове навантаження. Найбільшою паливною економічністю буде володіти міні-ТЕЦ обладнана баками-акумуляторами.

Результати, одержані при використанні на міні-ТЕЦ різних типів ГТУ наведені в табл.3.2, 3.3, 3.4.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		48

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку ГТУ типу ГТД-2500А

$t_{зв},$ °C	$Q_{ут},$ кВт(т)	$\eta_{гту}$	$b_{гту},$ кг/с	$G_{yx},$ м ³ /с
-27	25930,66	0,3923	1,5745	75,08
-25	26274,08	0,3916	1,5776	74,77
-20	27120,46	0,3898	1,5849	73,98
-15	27950,65	0,3879	1,5926	73,21
-10	28764,25	0,3861	1,5998	72,45
-5	29771,36	0,3844	1,6069	71,70
0	30576,81	0,3828	1,6138	70,97
+5	31368,08	0,3812	1,6205	70,24
+8	31836,19	0,3803	1,6245	69,81

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку ГТУ типу НК-14Е

$t_{зв},$ °C	$Q_{ут},$ кВт(т)	$\eta_{гту}$	$b_{гту},$ кг/с	$G_{yx},$ м ³ /с
-27	13218,7	0,3174	0,6441	29,47
-25	13363,4	0,3167	0,6456	29,36
-20	13721,6	0,3150	0,6492	29,08
-15	14074,0	0,3130	0,6527	28,82
-10	14422,2	0,3116	0,6562	28,55
-5	14765,1	0,3100	0,6597	28,29
0	15103,0	0,3080	0,6630	28,04
+5	15436,2	0,3069	0,6663	27,79
+8	15633,9	0,3060	0,6683	27,64

Порівняння варіантів проводилося при незмінній тепловій потужності станції. Розглядається варіант міні-ТЕЦ з розрахунковим тепловим навантаженням $Q_{от} = 50$ МВт. Коефіцієнт теплофікації за рекомендацією [25] $\alpha = 0,8$. Основне обладнання міні-ТЕЦ складається з трьох ГТУ, забезпечених котлами-утилізаторами, обладнаних допалюючими пристроями. Котел-утилізатор ГТУ типу 1 має найбільшу потужність, тому необхідно на часткових режимах байпасірувати значну кількість вихлопних газів.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
						49
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку ГТУ типу ГТУ-8,5

$t_{зв},$ $^{\circ}\text{C}$	$Q_{ут},$ кВт(т)	$\eta_{ГТУ}$	$b_{ГТУ},$ кг/с	$G_{ух},$ $\text{м}^3/\text{с}$
-27	12454,0	0,3100	0,5886	25,89
-25	12581,8	0,3101	0,5900	25,79
-20	12902,7	0,3084	0,5932	25,55
-15	13218,9	0,3067	0,5965	25,31
-10	13530,5	0,3051	0,5996	25,07
-5	13837,7	0,3035	0,6028	24,84
0	14140,5	0,3020	0,6058	24,61
+5	14439,1	0,3005	0,6088	24,38
+8	14616,0	0,2996	0,6106	24,25

Однак, при розрахунковій температурі, коли необхідне допалювання палива для покриття навантаження в інших варіантах необхідна більша витрата палива на допалювання в КУ. Внаслідок цього питомі витрати умовного палива b_e і b_T при розрахунковій температурі досягають мінімуму. В результаті річні показники міні-ТЕЦ сильно відрізняються (табл.3.5).

Таблиця 3.5 - Річні показники роботи міні-ТЕЦ

Характеристики міні-ТЕЦ	1-й тип	2-й тип	3-й тип
Річне виробництво електроенергії E , МВт · год / рік	205205	92800	83300
Річне виробництво тепла Q , ГВт · год / рік	127,940		
Річний відпуск тепла з КУ Q , ГВт · год / рік	119,852	122,058	120,146
Річний відпуск тепла ДУ Q , ГВт · год / рік	14,705	5,882	8,823
Річна витрата палива ГТУ, тис. м^3 / рік	26774,893	22793,678	22851,926
Річна витрата палива ДУ, тис. м^3 / рік	1584,202	633,681	1250,521
Річна витрата палива міні-ТЕЦ, тис. м^3 / рік	28359,095	23427,359	24102,447

Для дотримання коректності порівняння варіантів характеристики котла-утилізатора розраховувалися стосовно кожної установки (табл.3.6).

Розгляд цих варіантів говорить про те, що більшою економічністю в річному розрізі може володіти ГТУ-ТЕЦ з менш потужними і економічними ГТУ, тобто при виборі складу основного обладнання слід приділяти серйозну увагу підбору типорозміру застосовуваних газових турбін .

Розроблені алгоритм і програма дають можливість аналізу варіантів на вибір найбільш раціонального складу обладнання з точки зору теплової економічності ГТУ-ТЕЦ.

Таблиця 3.6 - Характеристики котлів утилізаторів

Характеристики КУ	Варіанти		
	1	2	3
Коефіцієнт теплопередачі k, Вт/(м ² ·°С)	158,6736	147,2286	147,58
Об'ємний коефіцієнт теплопередачі k _v , Вт/(м ³ ·°С)	2798,51	2636,1	2620,21
Температурний напір Δt, °С	116,55	138,78	132,43
Висота пакета, м	4,68	4,86	4,864
Довжина и ширина пакета, м	4,154	2,72	2,646

Висновок про економічні переваги того чи іншого варіанту складу основного обладнання може бути зроблений лише на підставі техніко-економічних розрахунків і буде залежати насамперед від співвідношення тарифів на електричну та теплову енергію, що відпускається від міні-ТЕЦ.

На закінчення можна зробити висновок, що при проведенні передпроектних робіт необхідний комплексний аналіз характеристик міні-ТЕЦ з огляду на велику кількість різних режимних і технічних факторів. Вибір складу обладнання за його номінальною потужністю може привести до

вирішення, далекому від оптимального. Розроблені алгоритм і програма дають можливість аналізу варіантів на вибір найбільш раціонального складу обладнання з точки зору теплової економічності міні-ТЕЦ. Безумовно, що далі необхідний техніко-економічний аналіз, що враховує джерела і форми фінансування будівництва, вартісні показники обладнання та ряд інших факторів.

3.2 Обґрунтування граничної теплової потужності міні-ТЕЦ

Специфіка визначення шкоди від раптового припинення або обмеження тепlopостачання споживача полягає в тому, що крім економічних втрат недовітпуск тепла супроводжується рядом негативних соціальних факторів, таких, як підвищена захворюваність, дискомфорт і т.д.

Робота ТЕЦ і міні-ТЕЦ між плановими зупинками для проведення ремонтів і технічного обслуговування супроводжується відмовами і відновленнями елементів енергоблоків. Частка часу в працездатному стані від календарного періоду T_k експлуатації характеризується коефіцієнтом технічного використання [26]

$$k_{\text{ти}} = \frac{t_p}{T_k} = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{пл}} + t_{\text{вр}} + t_{\text{рез}}} \cong 1 - \delta_{\text{пл}} - \delta_{\text{вр}} - \delta_{\text{рез}}, \quad (3.38)$$

де t_p - період працездатності;

$t_{\text{пл}}$ - період планових ремонтів і техобслуговування;

$t_{\text{вр}}$ - час непланових ремонтів;

$t_{\text{рез}}$ - час знаходження в резерві;

$\delta_{\text{пл}}, \delta_{\text{вр}}, \delta_{\text{рез}}$ - відповідно частки календарного часу, що припадають на планові зупини для проведення ремонтів і технічного обслуговування, відновлення обладнання та очікування в резерві.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		52

Відмови і планові зупини призводять до недовиробітку певної кількості ΔW_T енергії в порівнянні з максимально можливою за календарний час T_K виробленням W_T . Остання пропорційна номінальній потужності установки N_H і визначається формулою

$$W_T = N_H \cdot T_K. \quad (3.39)$$

На відміну від W_T кожної енергоустановки диспетчерським графіком задається планове вироблення $W_{пл}$, що враховує плановані зупини для ремонтів і технічного обслуговування обладнання, а також зміни потужності, викликані необхідністю покриття заданого графіка навантажень. Планове вироблення $W_{пл}$ розраховують за формулою

$$W_{пл} = N_{ср} \cdot (T_K - t_{пл} - t_{рез}) = N_{ср} \cdot T_K \cdot (1 - \delta_{пл} - \delta_{рез}). \quad (3.40)$$

Дійсне вироблення енергії, при наявності повних або часткових відмов буде менше $W_{пл}$ і складе

$$\begin{aligned} W_d &= N_{ср} \cdot (T_K - t_{пл} - t_{вр} - t_{рез}) = N_{ср} \cdot T_K \cdot (1 - \delta_{пл} - \delta_{вр} - \delta_{рез}) = \\ &= N_{ср} \cdot T_K \cdot k_{ти}. \end{aligned} \quad (3.41)$$

Тут $N_{ср}$ - середня потужність енергоустановки, що розраховується за формулою

$$N_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{H_i} \cdot t_{p_i} + \sum_{j=1}^m N_{S_j} \cdot t_{p_j}^s}{\sum_{i=1}^n t_{p_i} + \sum_{j=1}^m t_{p_j}^s}, \quad (3.42)$$

де N_H, N_S - відповідно номінальне і часткове навантаження енергоблоку;
 t_p, t_p^s - час роботи установки на номінальному і частковому навантаженнях

Недовиробіток електроенергії через повних і часткових відмов блоку дорівнює різниці між плановою $W_{пл}$ і дійсною W_d виробками:

$$\Delta W = W_{пл} - W_d \quad (3.43)$$

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
						53
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

а відносний недовиріток енергії виражається коефіцієнтом забезпеченості

$$\Delta = 1 - \Delta W / W_{\text{пл}} \quad (3.44)$$

Недовиріток електричної і теплової енергії супроводжується збільшенням собівартості виробленої енергії через:

- збільшення питомих витрат палива при роботі обладнання на нерозрахованих режимах;
- додаткових витрат матеріальних та трудових ресурсів на відновлення обладнання, яке відмовило;
- додаткової витрати палива на пуск енергоустановок після відновлення.

Особливістю споживання електричної і теплової енергії (в разі відсутності акумулятора теплоти) є його безперервність у часі і залежність від режимів роботи споживачів. З цих причин недовідпуск енергії споживачам залежить не тільки від надійності енергетичних установок, а й від графіка режимів електро- і теплоспоживання. Недовідпуск енергії споживачам настає в ті моменти часу, коли наявний рівень вироблення енергії стає менше необхідного (<). В інші періоди, коли >, компенсація недовідпуск енергії практично неможливий через відсутність її складування. У той же час при наявності теплових акумуляторів на джерелі тепlopостачання часткова або навіть повна компенсація відпуску тепла в мережу можлива. Загальний недовідпуск тепла в цьому випадку може бути розрахований за формулою

$$\Delta Q = \int_0^T [\Phi_{\text{Тр}}(t) - \Phi_{\text{р}}(t)] dt = \int_0^T \Delta \Phi(t) dt, \quad (3.45)$$

де $\Delta \Phi(t)$ - дефіцит потужності (продуктивності) в момент часу t , обумовлений відмовами функціонування.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		54

Недовідпуск комунально-побутовим споживачам теплової енергії на прикладі теплопостачальної системи, що складається з основного джерела теплової потужності Q_{oi} , магістрального теплопроводу, міні-ТЕЦ продуктивністю $Q_{MT} = (n + r) \cdot Q'_{MT}$ (n, r - число робочих і резервних енергоагрегатів на міні-ТЕЦ одиничною потужністю Q'_{MT}). Пікова тепла потужність покривається за рахунок допалювання додаткового палива в котлі-утилізаторі.

$$Q_c = Q_{oi} + (n + r) \cdot Q'_{MT} \quad (3.46)$$

Відмова функціонування настає в момент часу, коли зниження потужності системи внаслідок відмови працездатності DQ перевищить величину $r \cdot Q'_{MT}$. Неовідпуск тепла $\Delta Q_H = \Delta Q - r \cdot Q'_{MT}$ протягом періоду часу t_H призводить до зниження температури повітря всередині опалюваних приміщень. Для кожного заданого рівня температури усередині опалювальних приміщень ($t_{b1}=0$ C; $t_{b2}=+10$ C; $t_{b3}=+15$ C) відповідає певний час неовідпуску тепла.

Час, протягом якого температура всередині приміщень знижується внаслідок порушення теплопостачання від t_B до t'_B , складе

$$\tau'_B = \beta \cdot \ln \frac{(t'_B - t_H) - \varphi(t'_B - t_{HP})}{(t_B - t_H) - \varphi(t_B - t_{HP})}, \quad (3.47)$$

де β - коефіцієнт, що характеризує теплоакumuлюючу здатність будівель, що дорівнює 40, ч [27];

φ - відносна теплове навантаження;

t_B, t'_B - розрахункова температура зовнішнього повітря і його температура в момент порушення теплопостачання, °C.

У табл. 3.7 наведені статистичні дані оцінки тривалості подій, що порушують роботу системи теплопостачання

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
						55
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.7 - Статистичні дані оцінки тривалості подій, що порушують роботу системи тепlopостачання

Причина відмови	Частот а, 1/год	Тривалість несправного стану		
		Середня, год	Максимальна, год	Стан неготовності, год / рік
нерозраховане похолодання	0,7	35-40	300-400	30-35
Стале пошкодження котельного обладнання	2,1	40	80	40
Нестале пошкодження котельного обладнання	4,1	0,3	0,6	1,2
Відмова - системи водopостачання	1	4	8	4
- електропостачання	1	1	2	7,5
- паливopостачання	8,6	1,5	3	1,3
пошкодження теплопроводу - перша ступінь	0,23			
d=500 мм	-	6	12	3
d=1000 мм	-	9,8	19,6	9
- друга ступінь	0,48			
d=500 мм	-	11	22	11
d=1000 мм	-	19	38	19
- третя ступінь	0,24			
d=500 мм	-	31	42	10,5
d=1000 мм	-	39	73	19,5

Використовуючи формулу 3.47 були розраховані можливі наслідки різних подій, які є причинами відмови. Результати розрахунків наведені в табл. 3.8. Теплова інерція житлових будинків усереднено приймалася рівною $\beta = 40$ 1/год, розрахункова температура зовнішнього повітря приймалася рівною $t_{нр} = -27$ ° С.

На підставі отриманих даних табл. 3.8 можна зробити висновок про те, що серед зазначених причин відмов систем тепlopостачання виключно важлива роль пошкоджень трубопроводів теплових мереж, від яких залежать всі показники надійності тепlopостачання.

Відповідно до чинного ДСТУ-Н Б В.2.5-35:2007 необхідно забезпечити 70 % подачі теплової енергії від розрахункового значення при аварійній ділянці теплової мережі. При проектному розрахунку теплової мережі потрібно забезпечити математичне очікування тривалості відновлення в залежності від типу прокладки та діаметру конкретного трубопроводу і температури зовнішнього повітря. Облік цих факторів забезпечує в аварійній ситуації деяку мінімальну температуру в опалювальних приміщеннях.

Критерієм відмови комунально-побутових споживачів в системах тепlopостачання є ймовірність неперевищення часу відновлення тепlopостачання над часом, за який відбудеться зниження температури всередині приміщень до визначеного відповідним рангом відмови рівня. Враховуючи, що час відновлення τ_b тепломагістралі є випадковою нормально розподіленою величиною з математичним очікуванням $\bar{\tau}_b = a + b \cdot d$ і дисперсією σ_{τ} , щільність розподілу величини τ_b описується функцією виду

$$f(\tau_b) = \left(\sigma_{\tau} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi} \right)^{-1} \cdot \exp \left\{ - \left(\tau - \bar{\tau}_b \right)^2 / 2 \cdot \sigma_{\tau}^2 \right\}, \quad (3.48)$$

де a, b - постійні коефіцієнти, які визначаються типом відмови [26].

При цьому ймовірність того, що час відновлення τ_b не перевищить величини τ'_b , так само

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		57

Таблиця 3.8 - Наслідки відмов обладнання теплопостачальної системи

Причина відмови	Мінімальні температури повітря в опалювальних приміщеннях, °С Розрахункова температура повітря -27 °С
Нерозраховане похолодання	17,56
Стале пошкодження котельного обладнання	15,25
Нестійке пошкодження котельного обладнання	17,9
Відмова	
- системи водопостачання	15,93
- електропостачання	17,71
- паливопостачання	16,61
пошкодження теплопроводу	
- перша ступінь	
d=500 мм	7,818
d=1000 мм	3,79
- друга ступінь	
d=500 мм	0,1
d=1000 мм	-8,82
- третя ступінь	
d=500 мм	-10,56
d=1000 мм	-20,32

$$P_{\tau}(\tau_B \leq \tau'_B) = \int_0^{\tau'_B} f(\tau_B) d\tau_B \quad (3.49)$$

Підставивши (3.48) в (3.49) і провівши інтегрування, отримаємо

$$\tau'_B = \bar{\tau}_B \cdot (1 + u_p \cdot v_{\tau}) \quad (3.50)$$

де u_p - квантиль нормального розподілу, відповідна ймовірності P_{τ} ;
 $v_{\tau} = \sigma_{\tau} / \bar{\tau}_B$ - коефіцієнт варіації, чисельно рівний 0,15-0,20 [26].

Вираз (3.50) запишемо у вигляді

$$\tau'_B = (a + b \cdot d) \cdot (1 + v_{\tau} \cdot u_p), \quad (3.51)$$

де u_p - квантиль нормального розподілу, відповідний ймовірності P_{\square} .

Отриманий вираз (3.51) дозволяє вирішити задачу по визначенню мінімально допустимого діаметра тепломагістралі і відповідну йому рівнем теплової потужності міні-ТЕЦ, що забезпечує нормовані значення надійності тепlopостачання по відношенню до будь-якого рангу відмов.

Значення мінімально допустимого діаметра трубопроводу визначиться як

$$d \leq \frac{\tau'_B}{b \cdot (1 + v_{\tau} \cdot u_p)} - \frac{a}{b} \quad (3.52)$$

З отриманого співвідношення видно, що мінімально допустиме значення діаметра тепломережі для міні-ТЕЦ визначається заданою вірогідністю подій відмови (u_p) зниження температури повітря всередині опалюваних приміщень для відповідного рангу відмови (τ'_B), температур зовнішнього повітря в момент відмови тепломагістралі ($t_{нв}$) і розрахункової температури повітря для опалення ($t_{нр}$).

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		59

Спільне рішення рівнянь (3.47), (3.50) і (3.52) дозволяє побудувати номограму для визначення граничної теплової потужності міні-ТЕЦ виходячи з умови виконання нормованих значень показників надійності тепlopостачання. Ця номограма приведена на рис. 3.5.

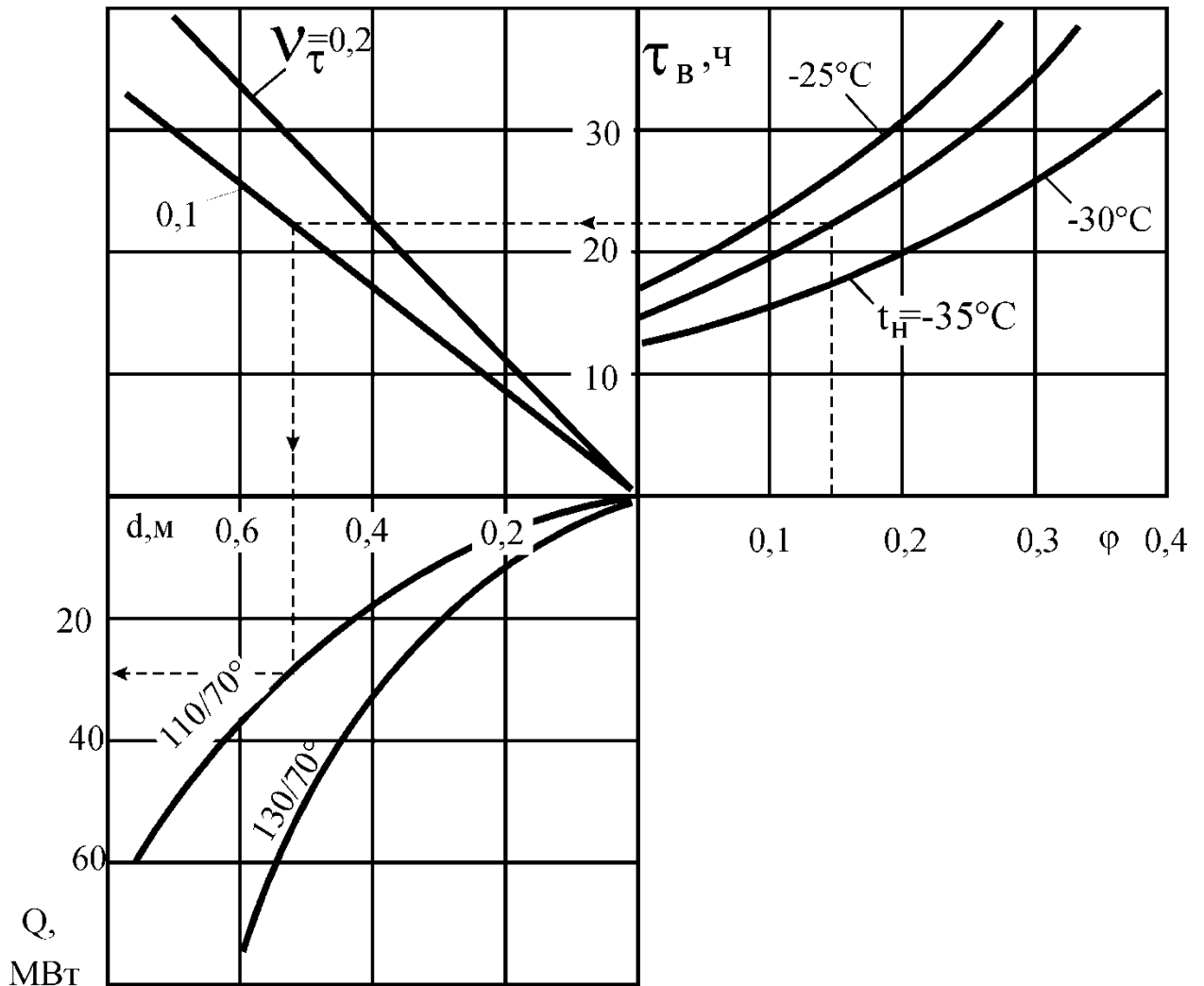


Рисунок 3.5 - Номограма визначення граничної теплової потужності міні-ТЕЦ

З рисунка випливає, що в разі видачі теплової потужності по одному теплопроводу гранична потужність міні-ТЕЦ знаходиться в межах 40-50 МВт (т) в залежності від кліматичних умов і температурного графіка тепломережі.

Для кожного конкретного випадку гранична теплова потужність міні-ТЕЦ визначається окремо з урахуванням схеми видачі теплової енергії. Крім

того, для кожного конкретного випадку необхідно проводити оптимізацію температурного графіка тепломережі.

3.3 Висновки до розділу

1. Сформульовано вимоги, що пред'являються до математичної моделі міні-ТЕЦ.
2. Запропоновано блок-схему алгоритму розрахунку характеристик теплофікаційних ГТУ.
3. Проведено розрахунок параметрів циклу ГТУ на номінальному режимі по відомій температурі зовнішнього повітря, ступеня підвищення тиску, ККД турбіни, потужності ГТУ і температури після КС. Також проведено розрахунки котла-утилізатора на змінних режимах.
4. Проведено розрахунок поточних характеристик ГТУ-ТЕЦ.
5. Розроблений алгоритм дає можливість аналізу варіантів на вибір найбільш раціонального складу обладнання з точки зору теплової економічності ГТУ-ТЕЦ

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		61

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи, які зменшують небезпеку виникнення вибухів та пожеж

Запобігання вибухів та пожеж – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на виключення можливості виникнення вибухів та пожеж.

Організаційні і технічні заходи щодо запобігання пожежі реалізуються ще на стадії проектування окремих об'єктів підприємств. При цьому заздалегідь вивчаються особливості технологічних процесів і об'єктів, можливі причини і джерела виникнення вибухів та пожеж. Запобігання пожежі великою мірою сприяє правильне планування, розміщення основних об'єктів з урахуванням рельєфу місцевості, дотримання протипожежних розривів між будівлями відповідно до вимог генерального плану.

Попередження вибухів та пожеж на підприємствах досягається]:

- запобіганням утворенню горючого середовища;
- запобіганням виникненню в горючому середовищі або появи в ньому джерел запалювання.

Запобігання утворення горючого середовища повинно досягатися:

- максимально можливим застосуванням негорючих і важко горючих речовин і матеріалів;
- обмеженням маси і об'єму горючих речовин, матеріалів та найбільш безпечним способом їх розміщення;
- ізолюванням горючого середовища;

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Золотницький А.В.</i>						62	
<i>Перевірів</i>	<i>Зінь М.М.</i>							
<i>Консульт.</i>	<i>Гурик О.Я.</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Вакуленко О.О.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Тарасенко М.Г.</i>				<i>зр.ЕТзс-42, ФПТ, ТНТУ</i>			

- підтримуванням концентрації горючих газів, пари, суспензій і окислювача в суміші за межею їх спалаху;
- достатньої концентрації флегматизатора в повітрі захищуваного об'єкту;
- підтримуванням його температури і тиску, за якими розповсюдження полум'я неможливе;
- максимальною механізацією і автоматизацією технологічних процесів, пов'язаних з вживанням горючих речовин;
- встановленням пожежонебезпечного обладнання, по можливості, в ізольованих приміщеннях чи на відкритих площадках;
- застосуванням для горючих речовин герметичного обладнання і тари;
- застосуванням пристроїв захисту виробничого обладнання з горючими речовинами від ушкоджень і аварій, встановленням відключаючих, відсікаючих та інших пристроїв;
- застосуванням ізольованих відсіків, камер, кабін.

Попередження утворення в горючому середовищі джерел запалювання повинно досягатися такими основними заходами [28]:

- застосуванням машин, механізмів, обладнання, пристроїв, під час експлуатації яких не утворюються джерела запалювання;
- застосуванням електрообладнання, що відповідає класу пожежовибухонебезпеки приміщення або зовнішньої установки, групі і категорії вибухонебезпечної суміші;
- застосуванням в конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел запалювання;
- застосуванням технологічного процесу і обладнання, що відповідає вимогам електростатичної іскробезпеки;
- пристроєм блискавкозахисту будівель, споруд і обладнання. Будівлі та споруди складів паливно-мастильних матеріалів захищають від

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		63

- прямих ударів блискавки, електростатичної та електромагнітної індукції та заносу потенціалів;
- підтримкою тиску в горючому середовищі нижчого за максимально припустимий за горючістю;
 - зменшенням визначального розміру горючої суміші середовища нижче максимально припустимого за горючістю.;
 - регламентацією виконання, застосування і режиму експлуатації машин, механізмів та іншого обладнання, матеріалів і виробів, що можуть бути джерелом запалювання горючого середовища;
 - застосуванням енергоустаткування, що відповідає класу пожежовибухонебезпеки приміщення або зовнішньої установки, групі і категорії вибухонебезпечної суміші;
 - застосуванням технологічного процесу і обладнання, що відповідає вимогам електростатичної іскробезпеки.;
 - регламентацією максимально допустимої температури нагрівання поверхонь обладнання і матеріалів, що можуть увійти в контакт з горючим середовищем. Режими роботи насосів, перекачувальних паливно-мастильних матеріалів не повинні спричиняти підвищене нагрівання їх поверхонь;
 - регламентацією максимально допустимої енергії іскрового розряду в горючому середовищі. Знижувати енергію іскрового розряду можна, зменшуючи напруження між частинами обладнання, при якому відбувається іскровий розряд в горючому середовищі;
 - регламентацією максимально допустимої температури нагрівання горючих речовин, матеріалів і конструкцій;
 - застосуванням інструмента, що не іскрить під час роботи з легкозаймистими речовинами. Слід застосовувати інструмент і пристосування, що не висікають іскри під час ударів і падіння;

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		64

- ліквідацією умов для хімічного самозагоряння речовин і матеріалів. До самоzapалювальних речовин в технологічних процесах належать пірофорні речовини, що розігріваються при окисленні киснем повітря до 600 °С;
- усуненням контакту з повітрям пірофорних речовин.

4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [28].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		65

і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, токопроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

4.3 Захист від статичної електрики

Статична електрика – це сукупність явищ, що пов'язані з виникненням, накопиченням та релаксацією вільного електричного заряду на поверхні або в об'ємі діелектричних та напівпровідникових речовин, матеріалів та виробів. Виникнення зарядів статичної електрики є результатом складних процесів перерозподілу електронів чи іонів при стиканні двох різнорідних тіл (речовин) [28].

Порушення поверхневого контакту при терті тіл призводить до електризації - виникнення електричних зарядів, які можуть утримуватись на поверхні цих тіл протягом тривалого часу. Такі заряди, на відміну від рухомих зарядів динамічної електрики (електричний струм) знаходяться у статичному стані.

Електричні заряди виникають:

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		66

- при терті діелектричних тіл один об одного або об метал (наприклад, пасові передачі);
- при переливанні, перекачуванні, перевезенні в ємностях горючих та легкозаймистих рідин;
- при транспортуванні горючих газів трубопроводом;
- при подрібненні діелектриків;
- при переміщенні сухого запиленого повітря зі швидкістю понад 15 – 20 м/с і т.п.

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серце-судинної систем. Відповідно до ГОСТ 12.1.045-84 гранично допустима напруженість електричного поля $E_{доп}$ на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м, якщо час впливу t_v не перевищує 1 год; при 1 год < t_v < 9 год – $E_{доп} = 60\sqrt{t_v}$.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів досягається трьома основними способами:

- запобіганням виникнення та накопичення статичної електрики,
- прискоренням стікання електростатичних зарядів,
- нейтралізацією електростатичних зарядів.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		67

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу стану і тенденцій розвитку теплофікаційних систем сформульовано вимоги, що пред'являються до енергоустановки малої і середньої потужності.

2. Встановлено, що зарубіжні публікації з проблеми, як правило, присвячені питанням ліцензування будівництва міні-ТЕЦ, законодавчим і правовим аспектам, взаєминам з енергетичними компаніями та забезпечення їх мінімального впливу на навколишнє середовище. Вітчизняні публікації в більшій мірі присвячені дослідженням паливної та загальної ефективності міні-ТЕЦ в порівнянні з традиційними системами теплопостачання

2. Узагальнено методику розрахунку комбінованих теплопостачальних систем, що включають районні ТЕЦ, які покривають теплове навантаження гарячого водопостачання, і міні-ТЕЦ на базі утилізаційних ГТУ, що покривають опалювальне навантаження, враховує режимні та кліматичні умови роботи системи, умови фінансування, а також вимоги щодо надійності теплоенергопостачання споживачів.

4. Проведено розрахунок параметрів циклу ГТУ на номінальному режимі по відомій температурі зовнішнього повітря, ступеня підвищення тиску, ККД турбіни, потужності ГТУ і температури після КС. Також проведено розрахунках котла-утилізатора на змінних режимах.

5. Розроблений алгоритм дає можливість аналізу варіантів на вибір найбільш раціонального складу обладнання з точки зору теплової економічності ГТУ-ТЕЦ.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Золотницький А.В.						
<i>Перевірів</i>		Зінь М.М.					68	
<i>Консульт.</i>		Зінь М.М.				гр.ЕТЗс-42, ФПТ, ТНТУ		
<i>Н. Контр.</i>		Вакуленко О.О.						
<i>Зав. каф.</i>		Тарасенко М.Г.						

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wada Masamuthi, Ureeshidani Hauro. Overall review of Hitachi gas turbines //Hitachi Rev. - 1989. - Vol. 38, 13. -P. 135-144.
2. Верхивкер Г.П., Дубковский О.Н. О целесообразности использования микро-ТЭЦ для бытового теплоснабжения //Промышленная энергетика. - 1992. - №3. - С. 12-15.
3. Жгулев Г.В. К вопросу создания маневренных ТЭЦ с ГТУ на базе ГТД //Энергетическое строительство. - 1991. - №5. - С. 20-27.
4. Использование ГТУ в системах централизованного теплоснабжения //Теплоэнергетика. - 1990. - №1. - С. 63-67.
5. Конрад А.Д. Методика определения эффективности мини-ТЭЦ с ГТУ //Изв. вузов. Энергетика. 1991. 11. №. 98-102
6. Андрущенко А.И. Комбинирование теплофикационных систем - способ повышения экономичности и надежности теплоснабжения //Изв. вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 1995. 13-4. №. 3-4.
7. Андрущенко А.И. Комбинированные системы теплоэнергоснабжения и их эффективность //Теплоэнергетика. - 1996. - №5. - С. 2-7.
8. Обоснование электрической мощности источников децентрализованного комбинированного энергоснабжения /Ю.М. Хлебалин, Ю.Е. Николаев, Д.А. Андреев //Вопросы повышения эффективности теплоэнергетических установок и систем: Юбилейный сборник научных сообщений. - Саратов: СГТУ, 1997. - С.67-71.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Золотницький А.В.</i>				ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Зінь М.М.</i>					69		
<i>Консульт.</i>	<i>Зінь М.М.</i>					ар.ЕТзс-42, ФПТ, ТНТУ		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Вакуленко О.О.</i>							
<i>Зав. каф.</i>	<i>Тарасенко М.Г.</i>							

9. Оптимизация коэффициента теплофикации и определение экономической эффективности мини-ТЭЦ с двигателями внутреннего сгорания /Ю.М. Хлебалин, Ю.Е. Николаев, Ю.В. Мусатов и др. //Промышленная энергетика. -1995. №5. - С. 20-22.
- 10.Петрушкин А.В. Методика расчета экономии топлива в комбинированной системе теплофикации //Юбилейный сборник научных сообщений. - Саратов: СГТУ, 1997. №. 72-78.
- 11.Bested scores with down-to-earth operating and maintenance plan. De Biasi Victor //Gas Turbine World. - 1993. - 23, 15 - P. 11-14, 16.
- 12.Caspers R.L. Gas turbine breaks 40% efficiency mark //Power. - 1991. Vol. 135, 11. P. 120-134.
- 13.Industrial CHP symposium countered on government and industrial projects //Gas Turbine World. - 1989. Vol. 19. 13. P. 42-47.
- 14.Penninger A., Fulop Z. Gas turbine connected before hot boilers //Period. Polytechic Mech. Eng. -1991. - Vol. 35, 13. - P. 147-160.
- 15.Uteley R. Small Gas turbines for CHP //Eur. Power News. - 1992. - Vol. 17, 15. P. 22-25.
- 16.Roesly T. Type 8 turbine works well for Shell //Mod. Power Syst. -1987. -Vol. 7, 12. - P. 55-59.
- 17.Sambler I. EPRI seek dramatic gains in maintain + ability and reliability //Gas Turbine World. - 1989. - Vol. 19, 12. P.16-20.
- 18.Standard super alloys used in GT24/26 //Gas Turbine World. - 1993. - 23, 16 - P. 34.
- 19.Андрющенко А.И. Некоторые пути увеличения экономии топлива от теплофикации и определение эффективности ТЭЦ в энергосистеме //Проблемы энергосбережения. - Київ, 1995. - №2-3. - С. 99-105.
- 20.Смирнов, Молодюк, Хрилев Л.С. Определение экономической эффективности и области применения газотурбинных

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		70

теплофикационных установок малой и средней мощности
//Теплоэнергетика - 1994.-№2. №. 24-30.

- 21.Слободянюк Л.И. Расчет котла-утилизатора на частичных режимах ГТД с теплоутилизационным комплексом// Изв. вузов. Энергетика.- 1993.-13-4. С. 11-15.
- 22.Использование ГТУ в системах централизованного теплоснабжения //Теплоэнергетика. - 1990. - №1. - С. 63-67
- 23.Децентрализованное комбинированное производство тепла и электроэнергии в Дании. Freddy Pederfen. Copenhagen. 1993. - 55 й.
- 24.Вопросы повышения эффективности теплоэнергетических установок и систем: Юбилейный сборник научных сообщений / Под общ. редакцией А.И. Андрющенко. - Саратов: СГТУ, 1997. - 200 с.
- 25.Оптимизация коэффициента теплофикации и определение экономической эффективности мини-ТЭЦ с двигателями внутреннего сгорания /Ю.М. Хлебалин, Ю.Е. Николаев, Ю.В. Мусатов и др. //Промышленная энергетика. -1995. 15. - №. 20-22.
- 26.Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС: Учеб. пособие для теплоэнергетических и энергомашиностроительных вузов /Г.П. Гладышев, Р.З. Аминов, В.З. Гуревич и др.; Под ред. А.Е. Агаджанянц. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 303й.
- 27.Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. - М.: Энергоиздат. 1982. - 360 с.
- 28.Гандзюк, М. П. Основи охорони праці [Текст] : підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський ; за ред. М. П. Гандзюка ; МОН України. – 4-е видання. – К. : Каравела, 2008. – 384 с.

					КРБ 19-053.00.00.000ПЗ	Арк
Змн	Арк	№ докум	Підпис	Дата		71