

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедри ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____ Петро ПЛЄШКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти

на тему:

«Підвищення ефективності теплопостачання
адміністративного корпусу комбінату "Ятрань" з
дослідженням системи автоматичного керування
температурним режимом»

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу групи ЕНМ-22М

ОПП «Енергетичний менеджмент» 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ Сергій ЛУК'ЯНЕНКО

« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

к.т.н., проф. _____ Сергій СЕРЕБРЕННІКОВ

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Петро ПЛІШКОВ

« 09 » 10 2023 р.

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

Лук'яненко Сергія Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності теплопостачання адміністративного корпусу комбінату "Ятрань" з дослідженням системи автоматичного керування температурним режимом

Conducting energy surveys and developing scientific recommendations for energy saving in the sports and recreation complex of "Yatran" plant

2. Керівник роботи Серебренніков Сергій Валентинович, к.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 30.12.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є підвищення рівня ефективності функціонування систем енергопостачання за рахунок зменшення втрат в устаткуванні й мережах адміністративного корпусу.

Для досягнення поставленої мети у роботі розглянуто наступні завдання:

1) огляд методів скорочення втрат енергії та аналізування режимів енергоспоживання

2) розглянуто конструктивні особливості будівлі адміністративного корпусу;

3) оцінка втрат та аудит інженерних систем;

4) заходи з підвищення рівня енергоефективності адміністративного корпусу;

5) визначено еколого-економічний ефект від обґрунтування та впровадження комплексу енергоефективних заходів;

6) охорона праці

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри “ЕТС та ЕМ” Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Аналіз проблеми підвищення рівня енергетичної ефективності</i>	<i>10.10.2023 р.</i>	
2	<i>Огляд методів скорочення втрат енергії та аналізування режимів енергоспоживання</i>	<i>13.10.2023 р.</i>	
3	<i>Дослідження конструктивних особливості будівлі адміністративного корпусу</i>	<i>25.10.2023 р.</i>	
4	<i>Розрахунок втрат та аудит інженерних систем</i>	<i>30.10.2023 р.</i>	
5	<i>Розроблення заходів з підвищення рівня енергоефективності адміністративного корпусу</i>	<i>15.11.2023 р.</i>	
6	<i>Визначення еколого-економічного ефекту від впровадження енергоефективних заходів</i>	<i>20.11.2023р.</i>	
7	<i>Охорона праці</i>	<i>30.11.2023 р.</i>	
8	<i>Висновки. Оформлення списку використаних джерел</i>	<i>07.12.2023 р.</i>	
9	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>11.12.2023 р.</i>	
10	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки МР</i>	<i>15.12.2023 р.</i>	

Дата видачі завдання

«__ 6 __» __09__ 2023 р.

Підпис керівника _____

Сергій СЕРЕБРЕННІКОВ

Завдання прийнято до виконання

«__ 6 __» __09__ 2023 р.

Підпис здобувача _____

Сергій ЛУК'ЯНЕНКО

АННОТАЦІЯ

Лук'яненко С.М. Підвищення ефективності теплопостачання адміністративного корпусу комбінату "Ятрань" з дослідженням системи автоматичного керування температурним режимом

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" освітньої програми «Енергетичний менеджмент». – Центральноукраїнський національний технічний університет: Кропивницький, 2023 р.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження методів підвищення ефективності теплопостачання адміністративного корпусу комбінату та розгляд питань доцільності впровадження системи автоматичного керування температурним режимом.

В результаті виконання енергетичного аудиту будівлі адміністративного корпусу комбінату виявлено джерела підвищених втрат теплової та інших видів енергії, обґрунтовано комплекс енергоефективних заходів.

Розроблена система автоматичного регулювання температури дозволить скоротити витрати на оплату «перепалів» та покращити санітарно-гігієнічний стан приміщень.

Результати досліджень можуть бути використані для зменшення теплових втрат та покращення режимів теплопостачання у приміщеннях адміністративного корпусу комбінату.

СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОАУДИТ, ТЕПЛОВІ ВТРАТИ, АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ

ABSTRACT

Lukyanenko S.M. Increasing the efficiency of the heat supply of the administrative building of the "Yatran" combine with the study of the automatic temperature control system

Qualification work for the second (master's) level of higher education in the specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics" of the educational program "Energy Management". – Central Ukrainian National Technical University: Kropyvnytskyi, 2023.

The purpose of the qualification work is to study the methods of increasing the efficiency of the heat supply of the administrative building of the plant and consider the feasibility of implementing a system of automatic temperature control.

As a result of the energy audit of the building of the administrative building of the plant, sources of increased losses of heat and other types of energy were identified, and a complex of energy-efficient measures was substantiated.

The developed system of automatic temperature regulation will allow to reduce the costs of paying for "overheating" and improve the sanitary and hygienic condition of the premises.

Research results can be used to reduce heat losses and improve heat supply regimes in the premises of the administrative building of the plant.

HEAT SUPPLY SYSTEM, ENERGY AUDIT, HEAT LOSSES, AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА РЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	10
1.1. Аналіз стану системи теплозабезпечення в Україні.....	10
1.2. Огляд світового досвіду реформування систем теплозабезпечення	17
1.3. Вдосконалення управління теплозабезпеченням	19
1.4. Реформування теплоенергетичної галузі.....	170
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ...	192
2.1. Методика проведення теплового енергоаудиту	192
2.1.1. Етапи обстежень.....	192
2.1.3. Обробка та аналіз результатів обстежень	Ошибка! Закладка не определена.
2.1.4. Оформлення звіту та енергетичного сертифікату	38
2.2. Джерела втрат теплової енергії	39
2.2.1. Теплова ізоляція стін	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.2. Теплоізоляція покрівлі.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2.3. Підвищення теплоізоляційних властивостей вікон	Ошибка! Закладка не определена.
2.3. Дослідження розподілу температур та уникнення роси в багатошарових огородженнях.....	38
3. ЕНЕРГОАУДИТ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ У АДМІНКОРПУСІ.....	57
3.1. Розрахунок теплових навантажень на опалення.....	57
3.1.1. Визначення теплових втрат через огорожуючі конструкції.....	57
3.1.2. Розроблені заходи з енергоощадження	63
3.1.3. Розрахунок за питомими опалювальними характеристиками.....	66
3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію.....	67

4. ДОСЛІДЖЕННЯМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ.....	<u>68</u>
4.1. Дослідження впливу температурного режиму котельні на теплові втрати	<u>68</u>
4.2. Системи регулювання температурним режимом приміщень	<u>601</u>
4.3. Розробка та впровадження АТР для мінімізації витрат на опалення	<u>77</u>
ВИСНОВКИ.....	<u>80</u>
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	<u>81</u>
ДОДАТКИ	
ОХОРОНА ПРАЦІ	<u>83</u>

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЕС	Атомна електрична станція
ВЕР	Відновлювальні енергетичні ресурси
ГВП	Гаряче водопостачання
ККД	Коефіцієнт корисної дії
НВДЕ	Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії
ПЕК	Паливно-енергетичний комплекс
ПЕР	Паливно-енергетичні ресурси
ТЕС	Теплова електростанція

ВСТУП

Стратегічними цілями розвою системи теплозабезпечення є надійне, та якісне постачання теплової енергії галузям економіки і соціальній сфері на підвалинах технологічної перебудови з переважним використанням комбінованого виробництва теплової й електричної енергії на базі теплових pomp, інших досягнень науково-технічного прогресу, підвищення енергетичної й економічної ефективності при забезпеченні екологічних вимог. Реалізація можливостей наукового прогресу в системах теплопостачання має забезпечити вирішення отаких проблем:

- розвиток виробництва, передачі та розподілу теплової енергії на підвалинах ефективного використання паливних ресурсів і енергомашинобудування;
- запровадження теплоенергетичного і електротехнічного устаткування, які відповідають вимогам ефективності і екологічності;
- забезпечення комплексної автоматизації процесів виробництва, транспортування і розподілу енергії;
- виробництва інформаційно-керувальних систем теплопостачання.

Метою роботи є мінімізація витрат на теплову енергію та дослідження системи автоматичного керування температурним режимом адмінкорпусу;

Об'єкт досліджень - температурний режим адмін-корпусу;

Предмет досліджень – мінімізація витрат на споживану теплову енергію.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА РЕФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1. Аналіз стану системи теплозабезпечення в Україні

Система теплопостачання в Україні є досить розвиненою; станом на 2021 р. загальне теплоспоживання дорівнювало 225 млн. Гкал. Упродовж останнього десятиріччя споживання теплової енергії скоротилось на 45%, що зумовлено: глобальним потеплінням, скороченням обсягів виробництва в галузях економіки, зниженням якості послуг централізованого опалення та гарячого водопостачання (ГВП), зниженням, обсягів водопостачання гарячої води споживачам, запровадженням приладів обліку тепла та води тощо.

Основними споживачами теплової енергії є житлово-комунальний сектор (44%) та промисловість (35%), інші галузі економіки разом споживають близько 21% тепла.

Потреби споживачів у тепловій енергії забезпечується опалювальними котельнями, ТЕЦ, автономними генераторами, джерелами теплових вторинних енергоресурсів, нетрадиційними та відновлюваними джерелами теплової енергії.

На даний час у країні працюють близько 250 ТЕЦ, з яких понад 200 – дрібні відомчі промислові установки. Основним паливом для ТЕЦ є природний газ – 70...75%, мазут – 15...20% та вугілля – 5...6%. Устаткування на більшості ТЕЦ не відповідає сучасним екологічним вимогам і потребує реконструкції і модернізації [2].

У тепловому господарстві країни перебуває понад 100 тис. котелень різного призначення. Переважна більшість із них – це дрібні промислові чи опалювальні автономні котельні. Стан устаткування більшості з них незадовільний, потребує реконструкції та заміни. Основним паливом для котелень є природний газ – 52...55% (мазут – 12...15%, вугілля – 27...35%) [3].

Значну частку теплової енергії виробляють автономні генератори (газові, твердопаливні котли тощо), установки з утилізації тепла та інші джерела.

Аналіз показує, що до 2030 року в Україні мають відбутися радикальні зміни у структурі джерел теплопостачання. Прогнозується витіснення газових котелень та ТЕЦ новими ефективнішими технологіями.

Враховуючи обмежені запаси власного палива, підвищення цін на імпорту та зростання попиту, основою політики у сфері теплопостачання має стати енергозбереження та підвищення ефективності.

Головним напрямком є зниження споживання газу за рахунок впровадження нових джерел енергії. Щоб задовольнити потреби в теплі, його виробництво потрібно майже подвоїти.

Розвиток систем теплопостачання до 2030 р. передбачає:

- подальше зменшення частки виробництва тепла котельнями;
- нарощування потужностей на базі електроенергії, теплових насосів тощо.

Прогнозується, що до 2030 року обсяг виробництва теплової енергії електричними теплогенераторами, насамперед тепловими помпами, зросте до 180 млн Гкал порівняно з 2 млн Гкал у 2015 р.

Також передбачається:

Збільшення виробництва тепла індивідуальними генераторами в 1,4 рази (з 24 до 33 млн Гкал);

Розширення використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, зокрема біомаси, у когенераційних установках;

Зменшення питомих витрат палива на виробництво тепла на 8% у 2020 р. та на 16% у 2030 р., що дасть економію 4,2 та 5,9 млн т у.п. відповідно.

Також прогнозується збільшення обсягів комбінованого виробництва тепла та електроенергії та надання пільг підприємствам, що використовують когенераційні установки.

Таблиця 1.1.1 - Структура виробництва теплової енергії за видами теплоджерел, млн. Гкал [3].

Теплоджерела	Прогнозний період, роки								
	2015			2020			2030		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Виробництво теплової енергії, усього	335	317	291	385	364	323	467	430	382
Електростанції та когенераційні установки, у т.ч. паливо:	58	56	54	64	66	56	79	76	73
Газове	40	40	40	36	36	36	29	29	29
Тверде	16	14	12	26	22	18	47	44	40
Ядерне	2	2	2	2,6	2,6	2,6	3	3	3
Котельні	216	204	183	228	218	187	109	103	84
Електричні теплогенератори ^{*)}	14,9	14,1	13	34,7	32,8	29	195	180	159
Індивідуальні теплогенератори	29,9	27	26	32	29	28	38	33	31,3
Теплові ВЕР	11,9	10,9	10,5	15	13	12,6	24,5	18,9	17
Інші джерела	3,9	3	3	10	9	8,5	20	18,9	16,8

^{*)} I – оптимістичний сценарій; II – базовий; III – песимістичний.

Загальні витрати органічного палива на виробництво теплової енергії електростанціями та котельнями зростатимуть від 35,7 млн т у.п. у 2015 р. до 43 млн т у.п. у 2020 р., з подальшим їх зменшенням до 26,2 млн т у.п. у 2030 р. Це пояснюється інтенсивним впровадженням у період 2016-2030 рр. теплових pomp та акумуляційних електронагрівачів.

Використання теплових pomp забезпечує не лише економічний, але й значний енергоощадний та екологічний ефекти. Адже на кожну одиницю енергії, вироблену електростанціями, тепловий насос додатково залучає 2-5 одиниць енергії тепла довкілля.

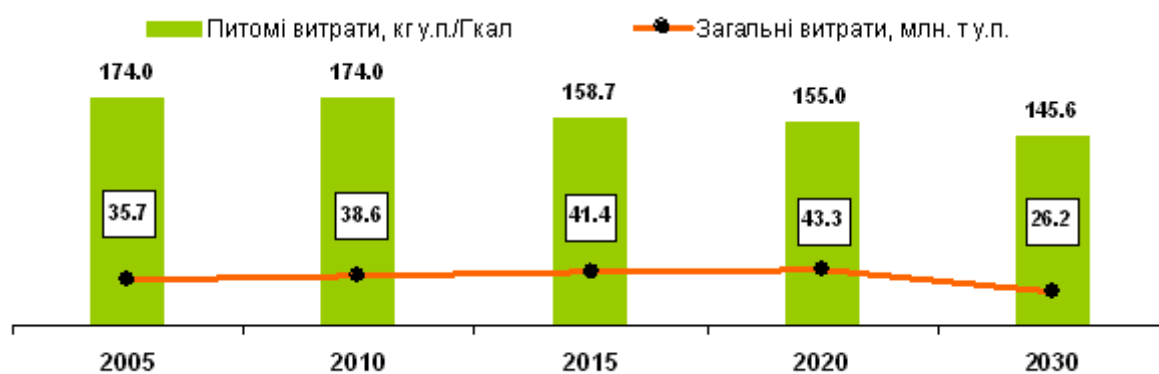


Рис.1.1.2 - Витрати палива на виробництво теплової енергії котельнями та електростанціями

До системи тепlopостачання входять:

- Об'єкти генерації теплової енергії: ТЕЦ, ТЕС, АЕС, когенераційні установки, опалювальні та промислово-опалювальні котельні, автономні генератори тепла, джерела з використанням вторинних енергоресурсів та відновлюваних джерел енергії.

- Об'єкти передачі і розподілу теплової енергії: магістральні тепломережі, теплові пункти, розподільчі мережі.

- Система керування і регулювання тепlopостачання.

Основні споживачі теплової енергії: житлово-комунальний сектор (44%), промисловість (35%) та інші галузі економіки (близько 21%).

Основними видами палива для ТЕЦ є: природний газ (77%), мазут (15%) та вугілля (6%). Для котелень - газ (67%), тверде паливо (31%) та рідке паливо (1,5%). У структурі собівартості тепла близько 55% становить вартість газу, 11% - електроенергії та 8% - води.

Частка централізованого теплопостачання в Україні - близько 42%. Ним забезпечується 60% загальної опалюваної площі та понад 40% житлового фонду має централізоване гаряче водопостачання.

Загальний виробіток теплової енергії ТЕЦ, котельнями та іншими джерелами становить 230-240 млн Гкал/рік. За останні роки спостерігається скорочення через економічну кризу та погіршення якості теплопостачання.

Тарифи на тепло встановлюються місцевою владою, на тепло ТЕС і ТЕЦ - НКРЕКП. Наразі ТЕЦ України забезпечують теплом понад 25 міст.

Ефективний радіус теплопостачання від ТЕЦ не перевищує 10 км. Приватні газопостачальники стимулюють споживачів до встановлення індивідуальних систем опалення, витісняючи ТЕЦ з ринку. Водночас спостерігається тенденція до скорочення споживання централізованого тепла. Оскільки частка ТЕЦ у теплопостачанні в Україні невисока (близько 25%), це не сприяє їх фінансовій стабілізації. Для порівняння, у розвинених країнах частка когенерації сягає 75%.

Більшість теплових мереж має значний ступінь зносу та не обладнана сучасною теплоізоляцією, 20% є аварійними. Експлуатація застарілого устаткування призводить до надмірних витрат палива та забруднення довкілля.

Планується за 5 років провести термомодернізацію 7173 будівель, що дозволить скоротити споживання газу на 20% та викиди на 15-20%.

Для поліпшення фінансового стану підприємств теплоенергетики потрібне реформування ЖКГ, підвищення енергоефективності та залучення наукових організацій до модернізації галузі.

Деякі можливості для розвитку:

- Освоєння виробництва високоефективних котлів та устаткування нового покоління;
- Розробка проектів автоматизованих котелень з високоефективними котлами та утилізаторами тепла;
- Створення модульних конденсаційних котлів з ККД майже 100%;
- Розвиток виробництва теплових насосів, модульних дахових котелень;
- Випуск приладів обліку та регулювання теплової енергії.

1.2. Огляд світового досвіду реформування систем тепlopостачання

Основні тенденції на зарубіжних ринках тепла - підвищення енергоефективності та впровадження технологій відновлюваної енергетики.

Необґрунтоване впровадження індивідуальних систем опалення завдало шкоди централізованим системам тепlopостачання.

Переваги централізованого тепlopостачання:

- ефективність за ущільненої забудови,
- можливість комбінованого виробництва тепла та електроенергії,
- зниження втрат енергії, використання місцевих видів палива та альтернативних джерел енергії
- можливість використання місцевих палива і альтернативних джерел, зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Впровадження енергоефективних проектів сприяє підвищенню ефективності систем централізованого тепlopостачання.

У країнах Західної Європи домінуючими стали системи централізованого тепlopостачання з використанням технологій когенерації. Наприклад, у Фінляндії частка централізованого опалення становить 45% будівель. За 20 років Данія подвоїла цей показник з 30% до 60%. Швеція є одним з лідерів у цій сфері.

У США щорічний приріст потужностей ТЕЦ та установок комбінованого циклу становить близько 3000 МВт електричних та 3500 Гкал/год теплових.

У Швеції та Фінляндії спалювання побутових відходів на ТЕЦ дозволило на 30% знизити потребу в органічному паливі.

Когенерація розглядається як ключовий напрям екологічної політики в рамках Кіотського протоколу. Уряд США вирішив подвоїти частку когенерації в енергобалансі з 10% до 15%.

Підвищення ефективності використання енергоресурсів є нагальною глобальною проблемою через зміну клімату та вичерпання викопних джерел енергії. З 1970-х років країни ЄС розпочали реалізацію політики енергозбереження та зниження енергоємності ВВП. Це було досягнуто завдяки ринковим механізмам, ціновій політиці, модернізації енергозатратних технологій та переходу до низьковуглецевої економіки.

У Польщі при підвищенні цін на енергоносії та одночасному зменшенні їх споживання вдвічі, рівень плати за опалення знизився на 17%. Важливу роль відіграли також організаційні заходи, зокрема створення об'єднань співвласників житла.

За 9 років у Словаччині питомі витрати теплової енергії на опалення будівель зменшились у 2,5 рази. У Чехії реформи дозволили скоротити споживання тепла на опалення на 50-60%.

В Японії держава відіграє провідну роль в організації та регулюванні сфери енергоефективності.

1.3. Вдосконалення управління теплозабезпеченням

Ціноутворення на енергію має ґрунтуватися на принципі економічно обґрунтованих витрат з урахуванням ефективного споживання паливно-енергетичних ресурсів, впровадження новітніх технологій та відновлюваних джерел енергії.

Поширена в Україні система тарифного регулювання методом "витрати плюс" неоптимальна, оскільки враховує усі витрати, зокрема пов'язані з

нераціональним господарюванням. Ще однією проблемою є перехресне субсидування за рахунок різних категорій споживачів.

Процес формування тарифів має ґрунтуватися на принципах: збалансованості інтересів, прозорості процедур, уникнення перехресного субсидування, обов'язкового покриття економічно обґрунтованих витрат, стимулювання енергозбереження та підвищення якості послуг.

Одним з варіантів є методика розрахунку граничного рівня тарифів на виробництво, транспортування та постачання теплової енергії для міст з різними системами тепlopостачання.

Основні моменти індексної методології тарифоутворення:

- Формулювання економічно обґрунтованих рівнів тарифів на теплову енергію та послуги централізованого опалення.
- Визначення умовно-змінної складової вартості теплової енергії.
- Дефініція умовно-постійної складової вартості теплової енергії.
- Розрахунок економічно обґрунтованих тарифів на теплову енергію.
- Перегляд граничних рівнів тарифів на виробництво, транспортування та постачання теплової енергії.

1.4. Реформування теплоенергетичної галузі

Технічна та технологічна модернізація систем тепlopостачання має бути спрямована на:

- Зниження енергоємності виробництва тепла шляхом впровадження когенерації;
- Зменшення втрат тепла під час транспортування та розподілу;
- Оптимізацію балансу тепlopостачання за рахунок альтернативних видів палива;
- Збільшення частки відновлюваних джерел енергії.

Це передбачає реалізацію таких завдань:

- Маловитратна модернізація котелень, у т.ч. для використання місцевих видів палива;

- Застосування ефективних пальників та утилізаторів тепла;
- Впровадження теплових насосів, використання вторинних енергоресурсів;
- Встановлення приладів обліку та регулювання теплової енергії, інформатизація сфери теплопостачання.

Для ефективного реформування галузі необхідна тісна взаємодія науки, освіти та виробництва, удосконалення системи підготовки кадрів у сфері теплоенергетики.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1. Методика теплового енергоаудиту. Завдання енергоаудиту

Метою енергетичного обстеження є визначення потенціалу енергозбереження та підвищення ефективності, а також розробка переліку заходів у цій сфері з їх вартісною оцінкою.

За результатами обстеження має бути отримана інформація щодо:

оснащеності засобами обліку ресурсів,

обсягів споживання енергоносіїв,

показників ефективності,

потенціалу економії та можливих заходів для підвищення ефективності.

Адміністративні установи мають 4 групи споживачів електроенергії: освітлення, електроприводи, опалення/нагрів, комп'ютери. За теплом - опалення та вентиляція.

Установи мають 5 груп: освітлення (до 70%), електродвигуни (20%), нагрів - до 20%, комп'ютери до 10%, інше. По тепловій енергії можна виділити 3 групи: опалювання до 70%, гаряче водопостачання 25%, вентиляція 10%.

2.1.2. Етапи обстежень

На етапі збору інформації визначаються:

-Склад та характеристики будівель організації за останні 3 роки;

-Кількість співробітників, параметри енергоносіїв;

-Динаміка споживання електроенергії, палива, тепла та води;

-Відомості про джерела енергопостачання;

-Дані щодо устаткування теплового пункту, систем опалення, електропостачання, вентиляції, освітлення;

-Наявність систем обліку енергоресурсів.

Візуально оцінюється:

-Стан будівельних конструкцій, ізоляції;

- Технічний стан устаткування, трубопроводів, освітлення;
- Обладнання теплових пунктів.

Також здійснюється перевірка технічного стану припливно-витяжних систем, наявності регулюючих та контролюючих пристроїв.

За видом джерел теплопостачання організації можуть бути:

- з власною котельнею;
- підключені до міських теплотмереж.

Для вимірювань можуть використовуватись встановлені прилади обліку (лічильники, манометри, термометри тощо) або переносне обладнання.

Похибка вимірювань не повинна перевищувати:

- температури - $0,1^{\circ}\text{C}$;
- тиску - $0,1 \text{ кгс/см}^2$;
- витрат - $2,5\%$.

На рисунках показано приклади схем опалення та гарячого водопостачання:

а) змішана,

б) послідовна (позначення: ПВ - підігрівач верхнього рівня, ПН - підігрівач нижнього рівня, О – опалення, ГВ - гаряча вода, РТ - регулятор температури, РР - регулятор витрати, В - вентиль).

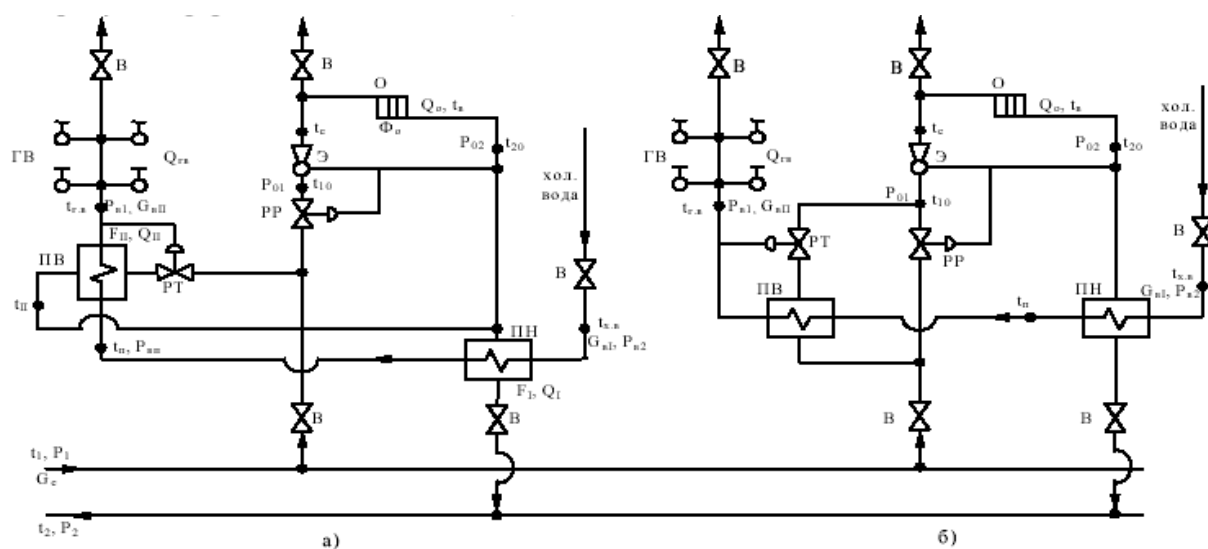


Рис.2.1.2.1 Схеми приєднання опалювання і ГВП

Для вимірювання витрат можуть використовуватися прилади теплотічників (діафрагми, турбінні або крильчаті витратоміри), а також стаціонарні чи переносні ультразвукові витратоміри.

Для вимірювання тиску можуть застосовуватися пружинні манометри, перетворювачі тиску типу МТ-100, Метран тощо.

Для вимірювання температури можна використовувати ртутні термометри, інфрачервоні безконтактні термометри або термоперетворювачі поверхневого типу.

У системах опалення вимірюють: витрату і температуру води, температуру повітря в приміщеннях, тиск. Витрату можна визначити за допомогою витратомірів або розрахувати за параметрами елеватора.

Температуру повітря в приміщеннях вимірюють для порівняння фактичного та розрахункового теплового навантаження системи опалення.

Тиск вимірюють на вході (P1) та виході (P2) з теплового пункту, а також до (P01) і після (P02) системи опалення.

Оскільки добовий графік теплового навантаження стабільний, виміри теплоносія слід проводити з інтервалом 2 години протягом декількох діб за різних температур зовнішнього повітря.

У системі гарячого водопостачання вимірюють: витрати води після другого ступеня підігріву, температуру та тиск тепло- і водопровідної води на вході й виході підігрівачів. Через нерівномірність графіка навантаження, виміри проводять з інтервалом до 5 хв з використанням портативних приладів.

У системах вентиляції вимірюють: продуктивність і тиск вентустановок, час їх роботи, температуру повітря всередині та зовні приміщень, об'єм приміщень.

Основні характеристики, що вимірюються при обстеженні систем кондиціонування: розміри приміщень, вологість повітря, температура всередині та зовні, швидкість повітрообміну, температура припливного повітря, інфільтрація.

У системі водопостачання складають схему з розмірами труб, характеристиками насосів і споживачів води. Проводять виміри: витрат води, тисків, витоків та втрат.

Використовують встановлені лічильники або портативні прилади. Похибка вимірювань не повинна перевищувати для витрат 2,5%, для тиску - 0,1 кгс/см².

Під час енергоаудиту порівнюють фактичні (витрата, тиск) та розрахункові значення параметрів.

Через нерівномірність графіку споживання холодної води, виміри проводять з інтервалом до 5 хв за допомогою портативних мікропроцесорних приладів.

Тепловізійне обстеження

Інфрачервона діагностика - неруйнівний метод контролю, заснований на реєстрації інфрачервоного випромінювання об'єкта.

Вона дозволяє:

- Проводити безконтактні температурні обстеження поверхонь;
- Визначати розподіл температури по поверхнях конструкцій;
- Оцінювати теплові втрати через огородження;
- Виявляти порушення теплоізоляції внаслідок використання неякісних матеріалів чи помилок під час будівництва та експлуатації;
- Діагностувати стан систем опалення та мікроклімату приміщень;
- Діагностувати стан електропроводки та контактних з'єднань;
- Визначати відповідність якості конструкцій нормативним документам та надавати рекомендації щодо усунення прихованих дефектів.

Вимірювальна апаратура

Для інфрачервоної діагностики можуть використовуватися тепловізори з такими характеристиками:

- Діапазон вимірюваних температур: від -20 до +100°C;
- Температурна чутливість: 0,2°C;
- Основна похибка вимірів: $\pm 2\%$ від верхньої межі;
- Спектральний діапазон: 2,5-8,12 мкм;

- Робочі температури: від -15 до +60°C;
- Частота кадрів: не менше 5 Гц;
- Формат зображення: не менше 320x240 пікселів;
- Можливість запису термозображень;
- Регулювання випромінювальної здатності.

Також необхідне додаткове устаткування: контактний термометр, анемометр, гігрометр, далекомір, термометр повітря, вимірювач теплових потоків, пірометр.

Методика вимірів

Піддаються обстеженню конструкції та елементи систем тепло- та електропостачання будівлі.

При обстеженні огорожень об'єктами вимірювань є зовнішні стінні панелі, їх стикові з'єднання, віконні укоси на північ, південь, схід чи захід, а також горизонтальні стики панелей перекриттів та підлог з підвалами та неопалювальними приміщеннями.

Обстеження проводиться тепловізором згідно стандартних методик зсередини та зовні приміщень.

Виміри слід робити за умови перепаду температури внутрішнього та зовнішнього повітря більше мінімально допустимого значення, яке визначається за формулою з урахуванням чутливості тепловізора, опору теплопередачі конструкції та умов теплообміну:

$$T_{min} = \Theta \cdot R_0^n \cdot (\alpha \cdot r) / (1 - r), \quad (2.1.2.1)$$

де Θ - межа чутливості тепловізора;

R_0^n - опір теплопередачі;

α - коефіцієнт тепловіддачі: для зовнішньої поверхні стін при швидкостях вітру 1, 3, 6 м/с - відповідно до 11, 20, 30 Вт/(м·°C);

r - опір теплопередачі до 0,85.

Температурний перепад між контрольованим об'єктом та навколишнім середовищем має становити не менше 10°C (вимоги ISO 6781). Під час зйомки зміна перепаду не повинна перевищувати 30% початкового значення. Коливання температури повітря всередині приміщення - не більше $\pm 2^\circ\text{C}$, об'єкти зйомки не мають піддаватися тепловому впливу сонця протягом попередніх 10 годин.

Зовнішня тепловізійна зйомка проводиться за відсутності задимлення, опадів і туману. За вітряної погоди вимірюється швидкість вітру для коригування даних, оптимальна швидкість - 3-5 м/с.

Мінімально допустиме наближення до ламп і радіаторів - 2 м, до об'єкта зйомки - 1 м. Для внутрішньої зйомки використовують об'єктиви з кутом огляду не менше 12°.

Кут спостереження об'єкта має становити щонайменше 60°.

Відстань тепловізора при зовнішній зйомці вибирають у певному діапазоні:

$$1/(t \cdot g \cdot f) < L < L_{\max}, \quad (2.1.2.2)$$

де:

L - віддаленість тепловізора від об'єкту;

f - кут об'єктиву;

$L_{\max}$ - відстань, де тепловізор втрачає точність.

Зйомка має здійснюватися з фіксованої відстані, оптимально 2-15 м до стіни. При зйомці стін верхніх поверхів може бути зроблений панорамний знімок всієї стіни.

При обстеженні системи опалення об'єктами є найбільш віддалені від вводу стояки на нижніх та верхніх поверхах, а також перший та останній радіатори.

Під час внутрішньої зйомки слід звернути увагу на екранування розташованих поруч джерел тепла, щоб уникнути їх впливу.

При обстеженні електромережі об'єктами є ввідні та розподільчі пристрої, контакти в поверхових щитах. Зйомка виконується згідно стандартних методик.

Також слід екранувати розташовані поруч джерела світла і тепла. Після зйомки проводиться візуальний огляд стану теплоізоляції, вентиляції, опалення тощо.

2.1.3. Обробка та аналіз результатів обстежень

Інформація, отримана під час інструментального обстеження, є вихідним матеріалом для аналізу ефективності використання енергії:

Аналізується динаміка споживання енергоносіїв за останні 3 роки, визначається структура енергоспоживання.

Будуються баланси за видами енергоносіїв.

Визначаються втрати енергії в елементах інженерних систем.

Розраховуються нормативні витрати енергоносіїв.

Найвідповідальнішим етапом є розрахунок нормативних витрат на основі питомих норм і характеристик будівлі.

Методи визначення витрат:

За витратами тепла на опалення.

На підставі вимірів під час обстеження визначаються фактичні витрати тепла.

:

$$Q_{\text{оф}} = G_{\text{оф}} \cdot c_{\text{оф}} \cdot (t_{01} - t_{02}); \quad (2.1.3.1)$$

$$Q_{\text{огф}} = Q_{\text{оф}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{cp}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о.ф.}}} \cdot n_{\text{о}}; \quad (2.1.3.2)$$

Де

t_{01} – температура води на подаючій трубі;

t_{02} – температура води в зворотній трубі;

$t_{\text{вн}}$ – температура приміщень;

$t_{\text{н.о.ф.}}$ – температура зовнішнього повітря;

$t_{\text{н.о}}^{\text{cp}}$ – температура зовнішнього повітря середня за опалювальний період;

n_o – тривалість опалювального періоду;

c_o – теплоємність води;

G_{of} – витрата води.

Фактичні витрати порівнюються з розрахунковими, які можуть бути визначені трьома методами:

- За питомими опалювальними характеристиками на 1 м3 будівлі.
- За питомими опалювальними характеристиками на 1 м2 площі.
- По тепловому балансу будівлі.

1. Розрахунок за питомими опалювальними характеристиками

Розрахунок за питомими характеристиками на 1 м3 об'єму будівлі.

Визначаються нормативне річне, середньогодинне та максимальне споживання теплової енергії на опалення за формулами:

$$Q_{ог}^H = 86,4 \cdot Q_{от} \cdot n_o, \text{ кДж}; \quad (2.1.3.3)$$

$$Q_{от} = Q_{o \max} \cdot \frac{t_{BH} - t_{H.O}^{cp}}{t_{BH} - t_{H.O}}, \text{ Вт}; \quad (2.1.3.4)$$

$$Q_{o \max} = \alpha \cdot V_H \cdot q_0 \cdot (t_{BH} - t_{H.O}), \text{ Вт}; \quad (2.1.3.5)$$

де n_o – тривалість опалювального періоду, ,

t_{BH} – температура середня внутрішнього повітря приміщень,

$t_{H.O}$ – температура зовнішнього повітря;

V_H – об'єм будівлі;

q_o – питома опалювальна характеристика,

α – поправочний коефіцієнт

Таблиця 2.1.3.1. Значення поправочного коефіцієнту [4]:

$t_{H.O}, ^\circ\text{C}$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-35	-40	-45
α	2,05	1,67	1,45	1,29	1,17	1,08	0,95	0,9	0,85

Системи гарячого водопостачання

фактичні витрати тепла на гарячіше водопостачання визначають На підставі вимірів:

$$\text{годині } Q_{\text{ГВФ}} = G_{\text{ГВ}} \cdot c_{\text{ГВ}} \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}); \quad (2.1.3.6)$$

$$\text{річні } Q_{\text{ГВФГ}} = Q_{\text{ГВФ}} \cdot n_o + 0,8 \cdot Q_{\text{ГВФ}} \cdot \frac{t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВЛ}}}{t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВЗ}}} \cdot (8400 - n_o); \quad (2.1.3.7)$$

де $t_{\text{ГВ}}$ – температура на подаючій трубі;

$t_{\text{ХВ}}$ – температура холодного водопостачання;

$t_{\text{ХВЛ}}$ – температура води влітку ($t_{\text{ХВЛ}}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$);

$t_{\text{ХВЗ}}$ – температура води взимку ($t_{\text{ХВЗ}}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$);

n_o – тривалість опалювального періоду;

$c_{\text{ГВ}}$ – теплоємності води;

$G_{\text{ГВ}}$ – витрата води в системі ГВП.

Фактичні витрати зіставляються з розрахунковими.

нормативне річне і середньогодинне, споживання теплової енергії на ГВП:

$$Q_{\text{ГВГ}}^{\text{H}} = 86,4 \cdot Q_{\text{ГВТ}} \cdot n_o + 86,4 \cdot Q_{\text{ГВТ}}^{\text{S}} \cdot (n_{\text{ГВ}} - n_o), \text{ кДж}; \quad (2.1.3.8)$$

$$Q_{\text{ГВТ}} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a+b) \cdot (55 - t_{\text{ХВЗ}})}{24 \cdot 3,6} \cdot c_{\text{ГВ}}, \text{ Вт}; \quad (2.1.3.9)$$

$$Q_{\text{ГВТ}}^{\text{S}} = Q_{\text{ГВТ}} \cdot \frac{55 - t_{\text{ХВЛ}}}{55 - t_{\text{ХВЗ}}} \cdot \beta, \text{ Вт}; \quad (2.1.3.10)$$

де $Q_{\text{ГВТ}}$ – потік на гаряче водопостачання;

m – число людей;

a – норма води при температурі $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ на одну людину в добу;

n_o – тривалість опалювального періоду;

$n_{\text{ГВ}}$ – доби в році роботи системи гарячого водопостачання (350 діб);

β – коефіцієнт, що враховує зміну витрати в неопалювальний період по причетності до опалювального ($\beta=0,8$ для комунального сектора і $\beta=1,0$ для організацій).

Системи вентиляції і кондиціонування

Витрати тепла на вентиляцію визначають На підставі вимірів при обстеженні

$$\text{годині } Q_{\text{вф}} = G_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{ноф}}), \quad (2.1.3.11)$$

$$\text{річні } Q_{\text{вгф}} = \frac{Q_{\text{вф}} \cdot z_{\text{в}}}{24} \cdot \left[n_{\text{в}} + \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{ноф}}} \cdot (n_{\text{о}} - n_{\text{в}}) \right]; \quad (2.1.3.12)$$

де $G_{\text{в}}$ – годинна витрата повітря;

$c_{\text{в}}$ – теплоємність повітря;

$n_{\text{о}}$ – тривалість опалювального періоду;

$n_{\text{в}}$ – число годин в опалювальному періоді (при $t_{\text{ноф}} = t_{\text{но}}$, $n_{\text{в}} = 0$);

$z_{\text{в}}$ – число годин роботи вентиляції.

Фактичні витрати можуть бути визначені по двох методів.

Розрахунок за вентиляційними характеристиками

Нормативне річне $Q_{\text{вг}}^{\text{н}}$, середньогодинне $Q_{\text{вт}}$ і максимальне $Q_{\text{втах}}$ споживання теплової енергії на опалювання

$$Q_{\text{вг}}^{\text{н}} = 3,6 \cdot z \cdot Q_{\text{вт}} \cdot n_{\text{о}}, \text{кДж}; \quad (2.1.3.13)$$

$$Q_{\text{вт}} = Q_{\text{втах}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{ср}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}}, \text{Вт}; \quad (2.1.3.14)$$

$$Q_{\text{втах}} = V_{\text{н}} \cdot q_{\text{в}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}), \text{Вт}; \quad (2.1.3.15)$$

де $n_{\text{о}}$ – тривалість опалювального періоду;

z – число годин роботи вентиляції (16 год),

$q_{\text{в}}$ – вентиляційна характеристика.

Обробка результатів тепловізійного обстеження може бути якісною і кількісною.

Якісний аналіз застосовується до зображень для виявлення зон теплових аномалій, що відповідають дефектам.

Кількісний аналіз використовується для визначення тепловтрат та фактичного опору теплопередачі.

При якісній оцінці вирішальними факторами є уявлення про тепловий режим та характер аномальних зон на тлі загальної картини.

Загальні правила:

Доповнювати тепловізійну зйомку візуальним оглядом та фотографуванням;

Оцінювати аномалії за величиною температурного перепаду;

Огляд всередині приміщення ефективніший через більший перепад температур.

Кількісна оцінка дозволяє оцінити ступінь небезпеки аномалій за додатковими тепловтратами, невідповідністю фактичних параметрів вимогам тощо.

Потужність тепловтрат Q з поверхні на момент зйомки:

$$Q = \alpha_v \cdot S \cdot (\tau_n - t_n), \text{ Вт}, \quad (2.1.3.16)$$

де: α_v – коефіцієнт тепловіддачі;

τ_n – температура поверхні стіни;

t_n – температура зовнішнього повітря.

При визначенні тепловтрат потрібно удаватися з приведеної потужності $Q_{\text{прив}}$, яку розраховують виходячи з тепловтрат Q і температурного натиску $\Delta T = t_v - t_n$ з обліком нормативного натиску $\Delta T_{\text{норм}} = t_{v \text{ норм}} - t_{n \text{ норм}}$,

де t_v – температура повітря в приміщенні;

$t_{v \text{ норм}}$ – нормативна температура в приміщенні;

$t_{n \text{ норм}}$ – середня зимова температура.

$$Q_{\text{прив}} = Q \cdot \Delta T_{\text{норм}} / \Delta T. \quad (2.1.3.17)$$

Повні тепловтрати:

$$W = Q \cdot D, \quad (2.1.3.18)$$

де D - градусо-дні опалювального період.

Економічний збиток від тепловтрат визначають виходячи з їх розрахованих значень.

Розрахунок фактичних опорів теплопередачі:

$$R_{o\,B} = (t_{\,B} - t_{\,H}) R_{\,H} / (\tau_{\,H} - t_{\,H})$$

або

$$R_{o\,H} = (t_{\,B} - t_{\,H}) R_{\,B} / (\tau_{\,B} - t_{\,B}), \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{ Вт}, \quad (2.1.3.19)$$

де $t_{\,B}$, $t_{\,H}$ – температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

$\tau_{\,H}$, $\tau_{\,B}$ – термографіровання температури внутрішньої і зовнішньої поверхні;

$R_{\,H}$, $R_{\,B}$ – температурний опір шару на внутрішній і зовнішній поверхні;

Енергозберігаючі заходи в системах енергопостачання представлено в табл. 2.1.3.2 дод.А.

2.1.4. Оформлення звіту по енергетичному обстеженню

У звіті має бути надана оцінка ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, викладені причини недоліків та наявні резерви економії, запропоновані енергозберігаючі заходи з результатами у фізичних та вартісних одиницях.

В описовій частині подається інформація про обстежувану організацію. В аналітичній частині представляється аналіз ефективності використання енергії, описуються заходи з енергозбереження та їх реалізації.

Звіт має завершуватися енергетичним сертифікатом установи, який підлягає перегляду у разі змін, що впливають на обсяг споживання паливно-енергетичних ресурсів.

2.2. Джерела втрат теплової енергії

Значні втрати тепла пов'язані із системами централізованого теплопостачання, на які споживається найбільше палива. На сучасному етапі ці втрати можна скоротити на третину за рахунок двох основних напрямків:

Основні напрямки скорочення втрат тепла:

Утеплення огорожувальних конструкцій;

Модернізація систем теплоспоживання.

Через неутеплені конструкції опалюваних будівель в атмосферу втрачається значна кількість теплової енергії.

2.2.1. Теплова ізоляція стін

Насамперед теплоізоляційні властивості стін оцінювалися лише за їх товщиною:

1,5 цеглини (380 мм) — недостатньо;

2 цеглини (510 мм) — нормально;

2,5 цеглини (640 мм) — оптимально.

Рациональним рішенням є використання ефективних теплоізоляційних матеріалів.

При зведенні нових будівель теплоізоляцію з мінвати чи подібних матеріалів розміщують всередині дворядної стіни з жорсткими горизонтальними діафрагмами (див. рис. 2.2.1.1).

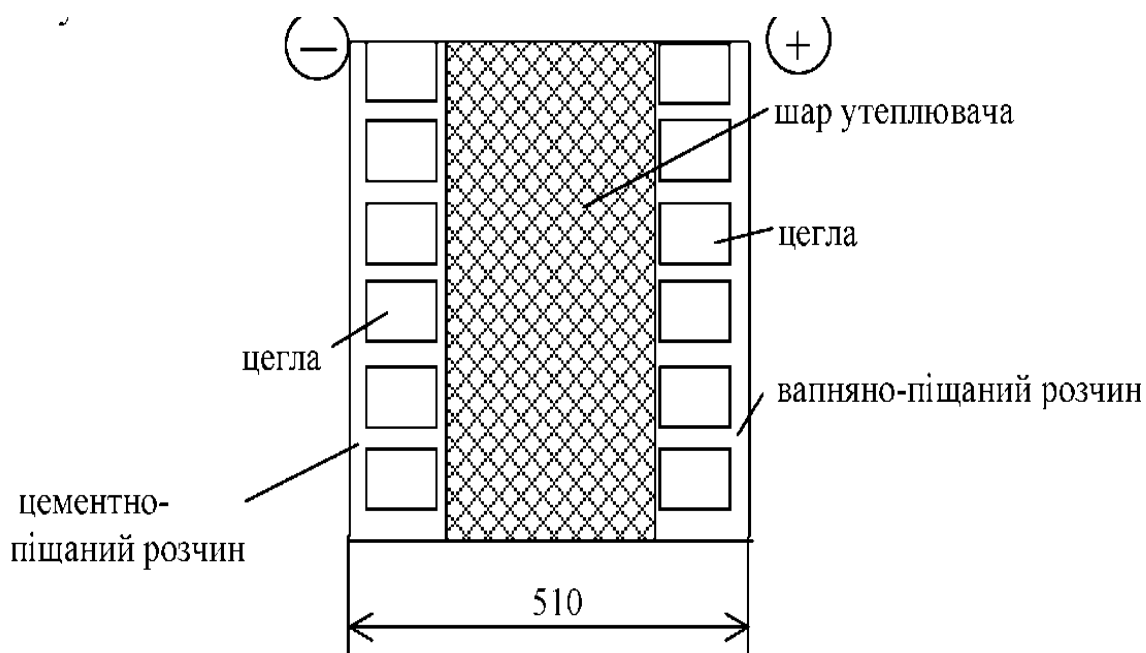


Рис. 2.2.1.1 - Схема цегляної кладки з утеплювачем

Залежність від товщини коефіцієнта теплопередачі багатошарової конструкції – на рис. 2.2.1.2

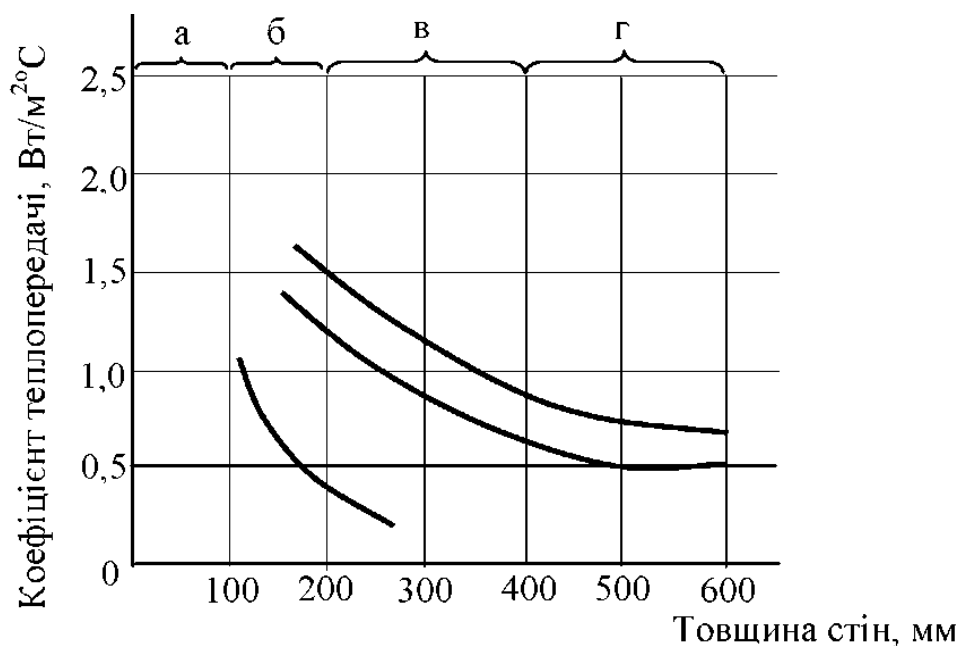


Рис. 2.2.1.2 - Залежність від товщини стіни коефіцієнта теплопередачі стіни (із силікатної цегли, мінеральної вати й штукатурки)

На рисунку показано 4 зони ефективності стін залежно від їх товщини та матеріалу:

- а) надвисокої ефективності;
- б) високої ефективності;
- в) низької ефективності;
- г) неефективного будівництва.

Для панельних будинків доцільно застосовувати тришарові стінові панелі з прошарком утеплювача між двома шарами залізобетону (див. рис. 2.2.1.3). Жорсткі з'єднання панелей поєднують конструкції, проте мають низькі теплозахисні властивості. Більш досконалішими є гнучкі зв'язки панелей.

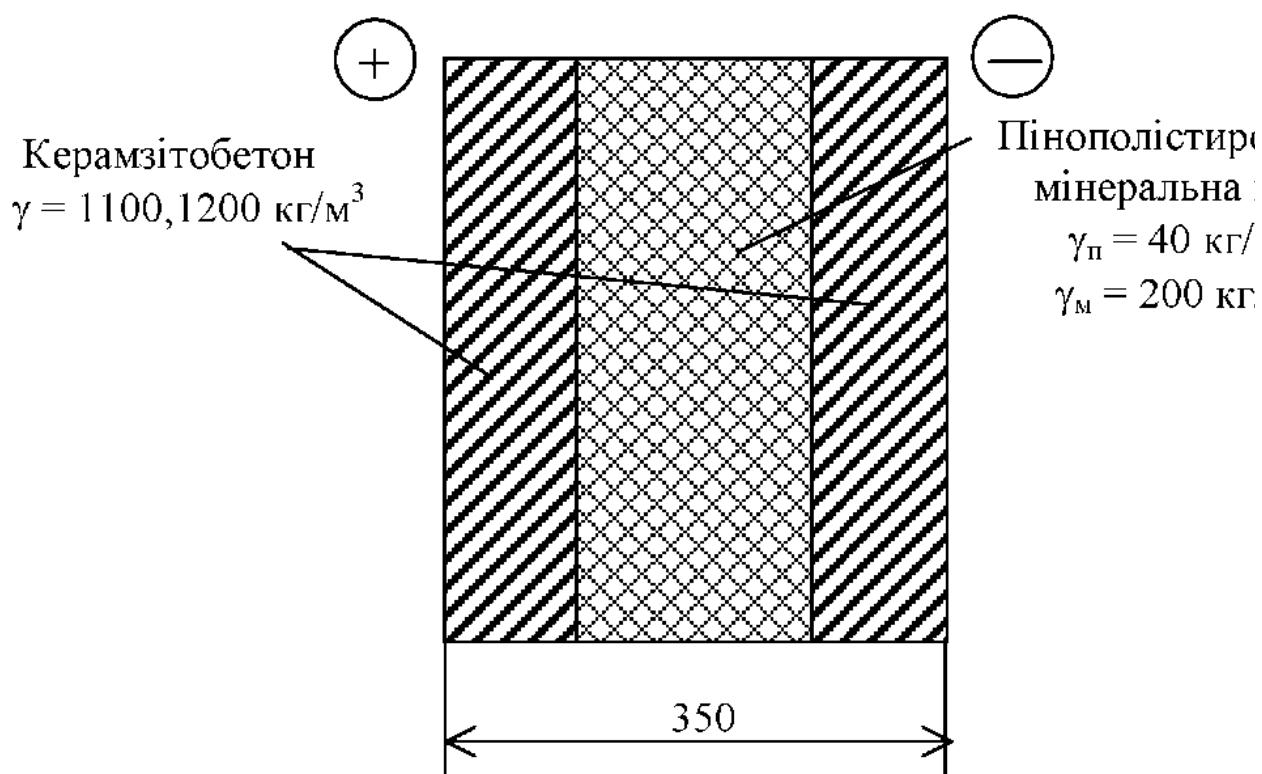


Рис. 2.2.1.3 - Тришарова панель

При утепленні існуючих будівель додатковий теплоізоляційний шар кріплять з зовнішньої або внутрішньої сторони стіни.

Переваги зовнішнього утеплення:

Утеплюється вся поверхня стіни;

Масивна частина стіни переміщується у теплу зону;

Підвищуються теплоаккумуляційні властивості;

Зберігається корисна площа;

Роботи виконуються без порушення функціонування будівлі.

У випадку цінних фасадів утеплення роблять зсередини.

Для теплоізоляції використовують мінвату, що кріпиться до стіни за допомогою рейок з облицюванням (див. рис. 2.2.1.4).

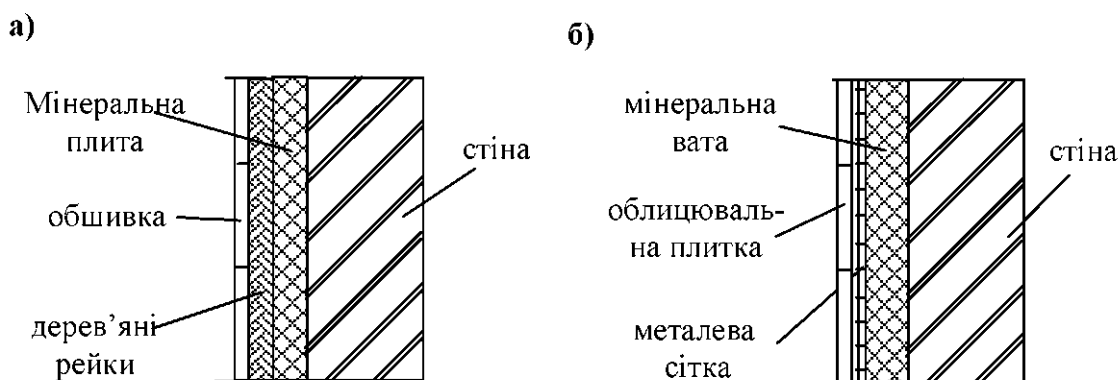


Рис. 2.2.1.4 - Кріплення ізолювального матеріалу

до стіни за допомогою:

а) рейок; б) металевої сітки

Найбільше застосування отримали теплоізоляційні матеріали: мінераловатні та скловолокнисті плити, пінопласти (поліуретанові, пінополістирольні, фенольні).

Пінопласти мають невелику щільність (30-60 кг/м³), низьке вологопоглинання (1-3%) та достатню міцність. Втім вони не досить вогнестійкі.

Мінераловатні плити більш вогнестійкі, але в 2,5-3,5 рази важчі за пінопласти, а їх вологопоглинання у 100 разів більше. Це знижує довговічність таких матеріалів. Вибір утеплювача базується на економічних розрахунках.

2.2.2. Теплоізоляція покрівлі

Норматив опору теплопередачі покрівлі - 2-3 м²·°C/Вт (в ЄС - 4-6,6 м²·°C/Вт).

Утеплення горища полягає у влаштуванні додаткового шару теплоізоляції товщиною до 250 мм і захисного шару стяжки. Біля зовнішніх стін теплоізоляція має бути на 50 мм товщою. Ефект утеплення тим більший, чим менше поверхів у будівлі (див. рис. 2.2.2.1).

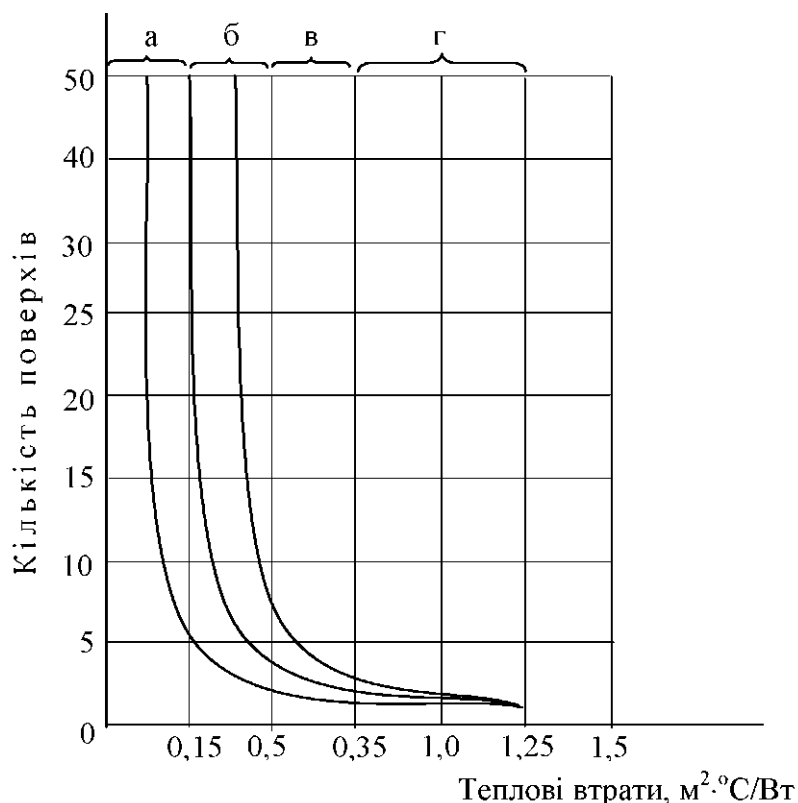


Рис. 2.2.2.1 - Вплив кількості поверхів на теплові втрати

На рисунку **рис. 2.2.2.1** показано 4 зони ефективності залежно від впливу кількості поверхів на тепловтрати:

- а) надвисокої;
- б) високої;
- в) низької;
- г) неефективного будівництва.

Широкий асортимент щільності (16-130 кг/м³ та 90-200 кг/м³) та висока технологічність (1200-3000 мм) роблять доцільним використання скло- та шлаковати.

Герметизація алюфольги з поліетиленовою основою та мінераловатного утеплювача розширює застосування мінераловати.

2.2.3. Підвищення теплоізоляційних властивостей вікон

Через вікна втрачається близько 20% тепла будівлі. Покращити їх теплоізоляцію можна за рахунок підвищення термічного опору та герметичності.

Ефективними рішеннями є застосування багатошарового скління, нанесення на скло тепловідбиваючих покриттів, створення герметичного прошарку між склом (склопакети), заповнення інертним газом.

Дані щодо теплоізоляційних властивостей конструкцій вікон наведено в таблиці 2.2.3.1 дод.А та на рис. 2.2.3.1.

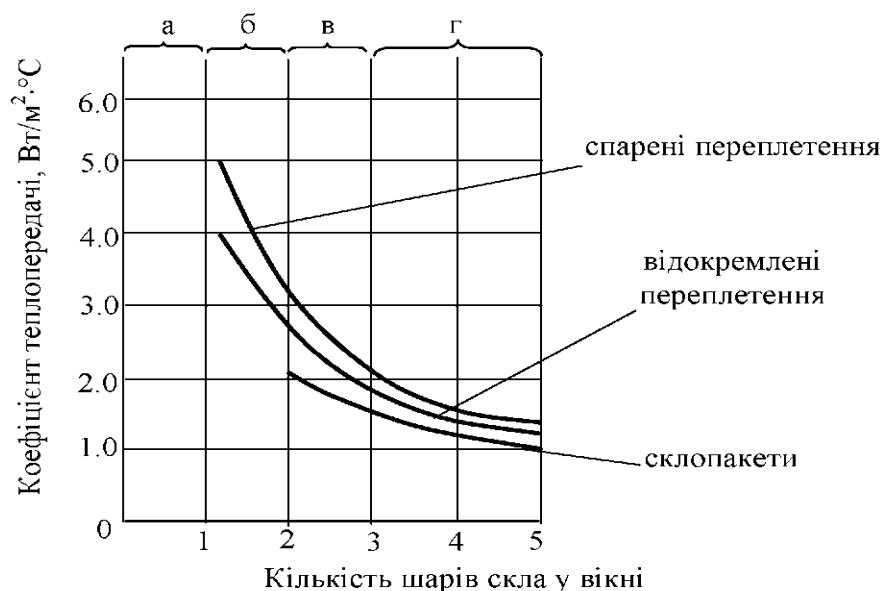


Рис. 2.2.3.1 - Тепловтрати вікон

а - зона небезпечної ефективності; б - низької ефективності; в - високої ефективності, г - неефективного будівництва.

Доцільним є застосування трискління, що дозволяє зменшити тепловтрати на 20-30%.

Інфільтрація - це проникнення зовнішнього повітря крізь щілини конструкцій під дією різниці тисків та площі щілин. Різниця тисків виникає через різницю густини холодного та теплого повітря і дію вітру. В

багатоповерхівках вона більша, отже потрібно ретельніше ущільнювати конструкції.

Повністю герметизувати вікна недоцільно, адже це забезпечує природну вентиляцію. Оптимальний вентиляційний ефект досягається періодичним короткочасним провітрюванням. Після цього вікна мають щільно закриватися, щоб уникнути протягів.

Приклад ущільнення шва між вікном і віконною коробкою показано на рисунку 2.2.3.2.

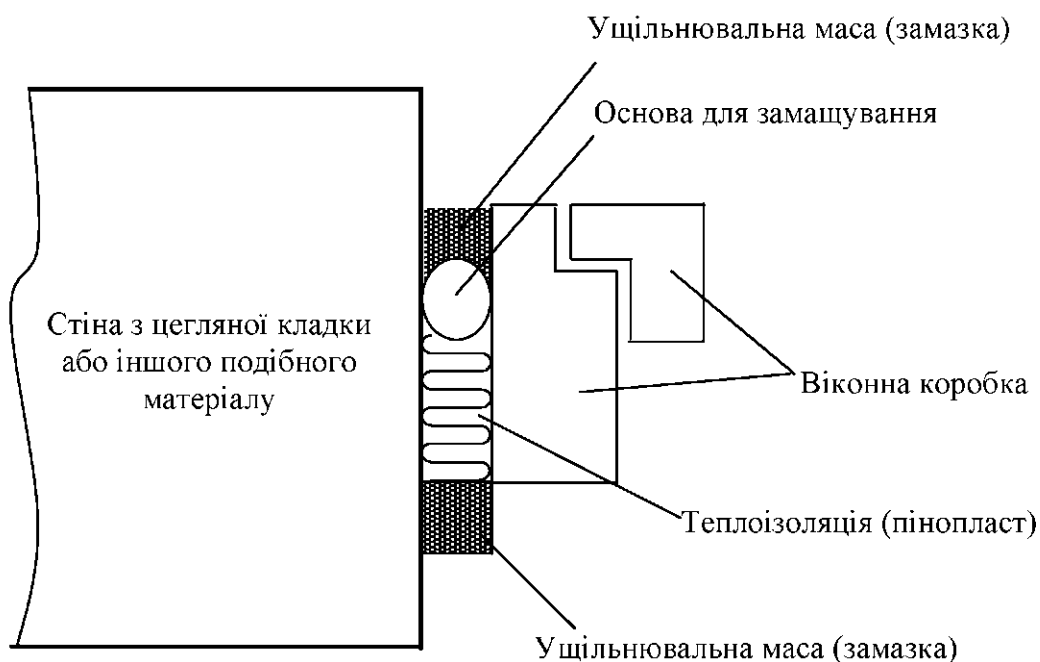


Рис. 2.2.3.2 - Ущільнення між стіною і вікном

Ущільнення вікон добре забезпечує стрічковими утеплювачами. Для вікон з нещільними притворами використовують паралонові джгути, а за їх відсутності щілини потрібно заклеювати папером.

Встановлення ущільнювальних прокладок підвищує температуру на поверхні вікна на 1,5...2°C, виключає конденсат на внутрішній поверхні скла. В результаті ущільнення підвищується теплозахист вікон до 20%.

2.3. Дослідження в багатошарових огороженнях розподілу температур та уникнення роси

Розрахунок паропроникнення крізь стіну

Мета розрахунку – обчислити графоаналітичним методом парціальний тиск водяної пари в стіні і наявність конденсації внаслідок паропроникнення.

На розрізі стіни будуть лінії розподілу температур і лінії парціальних і максимальних насичуючих тисків водяної пари. За розташуванням ліній парціальних тисків роблять висновок про можливість конденсації водяної пари.

Послідовність обрахунку парціальних тисків.

Зовнішні умови розрахунку.

Визначення температур на межах шарів:

$$t_x = t_{\text{вн}} - \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}}{R_0} \left(R_{\text{вн}} + \sum R_x \right), \quad (2.3.1)$$

де $t_{\text{зовн}}$ – температура зовнішнього повітря самого холодного місяця, t_x – температура в огороження; $t_{\text{вн}}$ – температура приміщення; R_0 – термічний опір; $R_{\text{вн}}$ – термічний опір на поверхні внутрішній; $\sum R_x$ – сума термічних опорів шарів.

а) Розподіл температури у 3- шаровій стіні

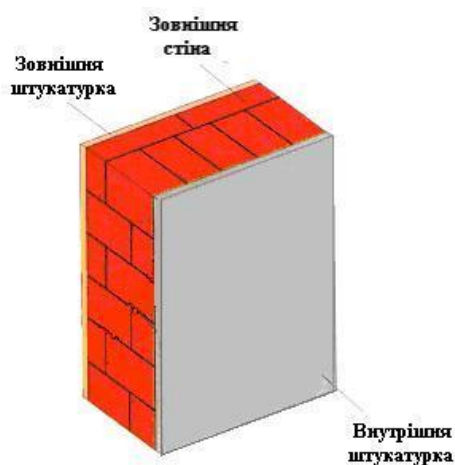


Рис. 2.3.1. Конструкція стіни

Для стіни на рис. 2.3.1., що складається з трьох шарів обчислюємо температури:

- на внутрішній поверхні:

$$\tau_{\text{ВН}} = t_{\text{ВН}} - \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} R_{\text{ВН}} = 18 - \frac{18 - (-10)}{0,842} \frac{1}{8,7} = 14,178 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$R_{\text{ВН}} = 1/\alpha_1$, де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої стіни $8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$; $t_{\text{ЗОВН}} = -10^\circ\text{C}$ - зимова температура;

- на межі першого й другого шарів:

$$t_{1-2} = t_{\text{ВН}} - \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{ВН}} + R_1) = 18 - \frac{18 - (-10)}{0,842} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} \right) = 13,71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- на межі другого й третього шарів:

$$\begin{aligned} t_{2-3} &= t_{\text{ВН}} - \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{ВН}} + R_1 + R_2) = \\ &= 18 - \frac{18 - (-10)}{0,842} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,58} \right) = -8,071 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- на зовнішній поверхні:

$$\begin{aligned} t_{\text{ЗОВН}} &= t_{\text{ВН}} - \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{ВН}} + R_1 + R_2 + R_3) = \\ &= 18 - \frac{18 - (-10)}{0,842} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,35}{0,58} + \frac{0,01}{0,7} \right) = -8,57 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Визначення тиску E водяної пари насиченої за температур на межах шарів:

$$\tau_{\text{ВН}} = 14,18 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow E_{\text{ВН}} = 1620 \text{ Па}, \quad t_{1-2} = 13,7^\circ\text{C} \rightarrow E_{1-2} = 1570 \text{ Па},$$

$$t_{2-3} = -8,07^\circ\text{C} \rightarrow E_{2-3} = 307 \text{ Па}, \quad \tau_{\text{ЗОВН}} = -8,6^\circ\text{C} \rightarrow E_{\text{ЗОВН}} = 290 \text{ Па}.$$

Обчислення на межах шарів парціальних тисків пари:

$$e_X = e_{\text{ВН}} - \frac{e_{\text{ВН}} - e_{\text{ЗОВН}}}{R_n} R_{n.X} \quad (2.3.2)$$

де e_X - парціальний тиск пари в перерізі $X-X$;

$e_{\text{ВН}}$ - парціальний тиск пари у приміщенні:

$$e_{\text{ВН}} = \frac{\varphi - E_{\text{ВН}}}{100} \quad (2.3.3)$$

де φ - відносна вологість повітря, %; $E_{\text{ВН}}$ - насичуючий парціальний тиск пари при $t_{\text{ВН}}$; $e_{\text{ЗОВН}}$ - парціальний тиск у повітрі (на січень); R_{Π} - опір паропроникненню, рівний сумі опорів шарів $\sum_{i=1}^N R_{\Pi i}$ огороження (N- число шарів). Опір паропроникненню $R_{\Pi i}$ і-го шару: $R_{\Pi i} = \frac{\delta_i}{\mu_i}$.

Для огороження на рис. 2.3.1

$$R_{\Pi} = R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2} + R_{\Pi 3} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,01}{0,12} = 3,62$$

де $\delta_{1,2,3}$ – товщина шарів; $\mu_{1,2,3}$ - коефіцієнти паропроникнення шарів.

μ характеризує кількість пари через 1 м^2 за 1 год. при градієнті тисків пари 1 Па/м.

Обрахунок на межі шарів парціальних тисків:

- на внутрішній поверхні при $t=18^{\circ}\text{C}$, $E_{\text{ВН}} = 2060$ Па, $\varphi_{\text{ВН}} = 74\%$

$$e_{\text{ВН}-1} = e_{\text{ВН}} = \frac{\varphi - E_{\text{ВН}}}{100} = \frac{0,74 \cdot 2063}{100} = 1526 \text{ Па},$$

- на межі першого й другого шарів:

$$e_{1-2} = e_{\text{ВН}} - \frac{e_{\text{ВН}} - e_{\text{ЗОВН}}}{R_{\Pi}} R_{\Pi 1} = 1526 - \frac{1526 - 260}{3,62} \left(\frac{0,01}{0,12} \right) = 1497 \text{ Па},$$

- на межі другого й третього шарів:

$$e_{2-3} = e_{\text{ВН}} - \frac{e_{\text{ВН}} - e_{\text{ЗОВН}}}{R_{\Pi}} (R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2}) = 1526 - \frac{1526 - 260}{3,62} \left(\frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} \right) = 289 \text{ Па},$$

На зовні стіни тиск $e_{\text{ЗОВН}}$ дорівнює тиску зовнішнього повітря $e_{\text{ЗОВН}} = 260$ Па.

Побудова діаграми дифузії пари

будуємо діаграму За отриманими даними (рис 2.3.2).

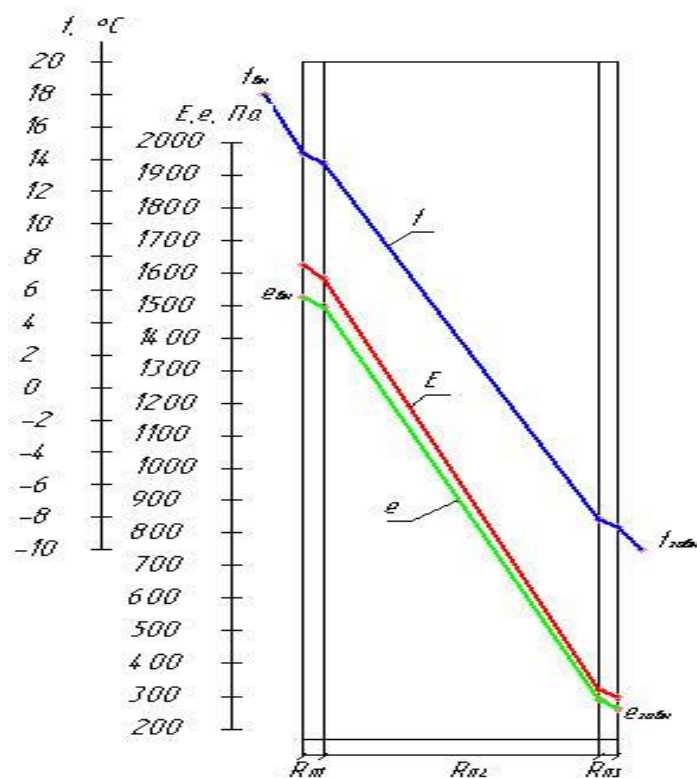


Рис. 2.3.2. Діаграма паропроникнення 3-шарової стіни

За діаграмою визначаємо Розмір зони конденсації. Якщо лінія E максимального тиску перетинає лінії e парціального тиску пари, то у стіні є зона конденсації.

б) Розподіл температури у 4- шаровій стіні

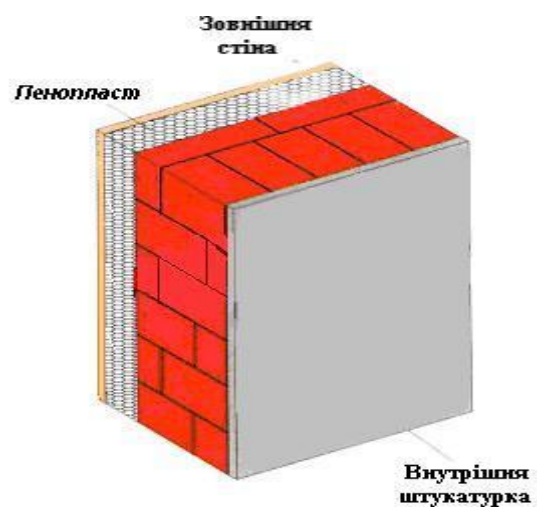


Рис. 2.3.3. Конструкція стіни

Для стіни, що складається з 4-х шарів розглянутої на рис.2.3.3 обчислюємо температури:

- на внутрішній поверхні:

$$\tau_{\text{BH}} = t_{\text{BH}} - \frac{t_{\text{BH}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} R_{\text{BH}} = 18 - \frac{18 - (-10)}{1,637} \frac{1}{8,7} = 16,033 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$R_{\text{BH}} = 1/\alpha_1$, де α_1 – коефіцієнт з внутрішньої тепловіддачі 8,7;

$t_{\text{ЗОВН}} = -10^\circ\text{C}$ - зимова температура;

- на межі першого й другого шарів:

$$\begin{aligned} t_{1-2} &= t_{\text{BH}} - \frac{t_{\text{BH}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{BH}} + R_1) = 18 - \frac{18 - (-10)}{1,637} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} \right) \\ &= 15,794 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- на межі другого й третього шарів:

$$\begin{aligned} t_{2-3} &= t_{\text{BH}} - \frac{t_{\text{BH}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{BH}} + R_1 + R_2) = \\ &= 18 - \frac{18 - (-10)}{1,637} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,58} \right) = 4,59 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- на межі третього й четвертого шарів:

$$\begin{aligned} t_{3-4} &= t_{\text{BH}} - \frac{t_{\text{BH}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{BH}} + R_1 + R_2 + R_3) = \\ &= 18 - \frac{18 - (-10)}{1,637} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,05}{0,064} \right) = -8,785 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- на зовнішній поверхні:

$$\begin{aligned} t_{\text{ЗОВН}} &= t_{\text{BH}} - \frac{t_{\text{BH}} - t_{\text{ЗОВН}}}{R_0} (R_{\text{BH}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = \\ &= 18 - \frac{18 - (-10)}{1,637} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,05}{0,064} + \frac{0,014}{0,5} \right) = -9,264 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Визначення тиску E насиченої пари за температури на межах шарів:

$$\tau_{\text{BH}} = 16,0 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow E_{\text{BH}} = 1817 \text{ Па}, \quad t_{1-2} = 15,9 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow E_{1-2} = 1790 \text{ Па},$$

$$t_{2-3} = 4,6 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow E_{2-3} = 847 \text{ Па}, \quad t_{3-4} = -8,8 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow E_{3-4} = 290 \text{ Па},$$

$$\tau_{\text{ЗОВН}} = -9,3 \text{ } ^\circ\text{C} \rightarrow E_{\text{ЗОВН}} = 275 \text{ Па}.$$

Обчислення парціальних тисків пари на межах шарів огороження.

Для варіанта на рис 2.3.3

$$R_{\Pi} = R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2} + R_{\Pi 3} + R_{\Pi 4} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,05}{0,23} + \frac{0,014}{0,12} \\ == 3,872$$

де $\delta_{1,2,3,4}$ – товщина шарів; $\mu_{1,2,3,4}$ - коефіцієнти паропроникнення.

Розрахунок парціальних тисків на межі між шарами:

- на внутрішній поверхні при $t=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $E_{\text{ВН}} = 2063\text{ Па}$, $\phi_{\text{ВН}} = 74\%$

$$e_{\text{ВН}-1} = e_{\text{ВН}} = \frac{\phi - E_{\text{ВН}}}{100} = \frac{0,74 \cdot 2063}{100} = 1526\text{ Па},$$

- на межі першого й другого шарів:

$$e_{1-2} = e_{\text{ВН}} - \frac{e_{\text{ВН}} - e_{\text{ЗОВН}}}{R_{\Pi}} R_{\Pi 1} = 1526 - \frac{1526 - 260}{3,872} \left(\frac{0,01}{0,12} \right) = 1499\text{ Па},$$

- на межі другого й третього шарів:

$$e_{2-3} = e_{\text{ВН}} - \frac{e_{\text{ВН}} - e_{\text{ЗОВН}}}{R_{\Pi}} (R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2}) = 1526 - \frac{1526 - 260}{3,872} \left(\frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} \right) = \\ = 369\text{ Па},$$

- на межі третього й четвертого шарів:

$$e_{3-4} = e_{\text{ВН}} - \frac{e_{\text{ВН}} - e_{\text{ЗОВН}}}{R_{\Pi}} (R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2} + R_{\Pi 3}) = \\ = 1526 - \frac{1526 - 260}{3,872} \left(\frac{0,01}{0,12} + \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,05}{0,23} \right) = 298\text{ Па},$$

На зовнішній поверхні стіни парціальний тиск $e_{4-\text{ЗОВН}}$ дорівнює парціальному тиску повітря $e_{\text{ЗОВН}} = 260\text{ Па}$.

Побудова діаграми дифузії пари

За діаграмою (рис 2.3.4) визначаємо наявність зони конденсації. Якщо лінія максимального тиску пари перетинає лінії парціального тиску, то у конструкції присутня **зона конденсації**. точки перетину ліній тиску визначають межі зони **конденсації** (рис 2.3.4).

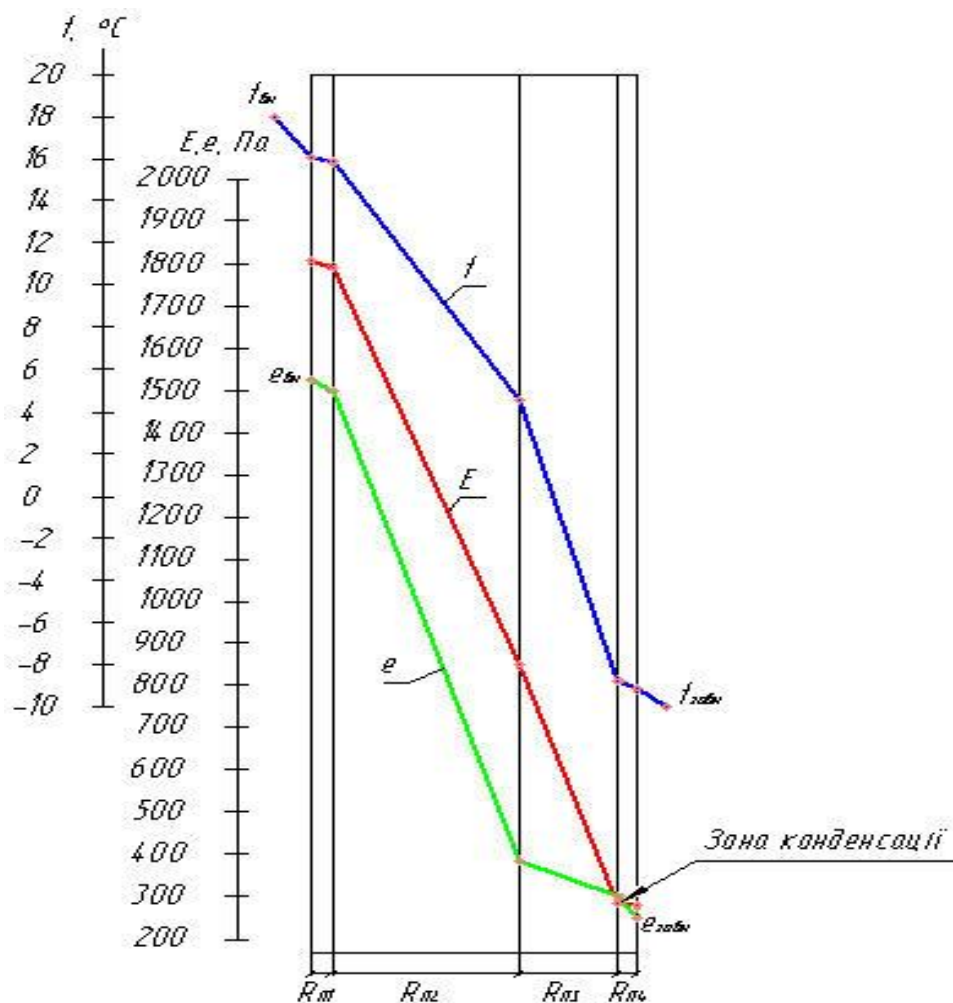


Рис. 2.3.4. Діаграма паропроникнення 4-шарової стіни

Щоб запобігти утворенню конденсату на внутрішній поверхні стіни при температурі повітря нижче -10°C , потрібно встановити додаткове утеплення ззовні, наприклад плити пінополістиролу товщиною 100 мм. Для температур нижче -10°C рекомендується збільшувати товщину теплоізоляції.

Окрім запобігання утворенню конденсату, зовнішнє утеплення фасадів має низку додаткових переваг:

Сприяє акумулюванню тепла взимку та збереженню прохолоди влітку завдяки високим теплоізоляційним властивостям.

Зменшує проникнення вологи крізь зовнішній шар стіни.

Запобігає деформаціям фасаду внаслідок перепадів температури та вологості.

Покращує звукоізоляцію за рахунок додаткового шару ізоляції.

Надає привабливішого зовнішнього вигляду будівлі завдяки сучасним фасадним матеріалам.

Додатково варто зазначити, що при утепленні фасадів важливо дотримуватися технології монтажу, щоб уникнути пошкоджень та забезпечити максимальну ефективність теплоізоляції. Також слід враховувати вимоги пожежної безпеки при виборі матеріалів теплоізоляції та облицювання.

3. ЕНЕРГОАУДИТ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ АДМІНКОРПУСУ

3.1. Розрахунок теплонавантажень на опалення

3.1.1. Розрахунок теплових втрат через огорожуючі конструкції

Теплові втрати Q через окремі огороження:

$$Q = F \cdot R_0 \cdot (t_b - t_3) \cdot m \cdot n \quad (3.3.1.1)$$

де F – площа огорожень; R_0 – опір теплопередачі; t_b і t_3 – температура внутрішнього і зовнішнього повітря, (приймається: $t_3 = -10$ °C, та $t_b = 18$ °C); m – коефіцієнт підвищення теплових втрат, для стін, що виходять на Схід або Захід $m = 1,05$; для стін, що виходять на Північ або Південь $m = 1,1$; n – коефіцієнт зниження тепловтрат для стін, що контактують із зовнішнім середовищем.

Коефіцієнт теплопровідності λ характеризує здатність матеріалу проводити тепло. Він показує кількість теплоти в Вт, що проходить крізь шар матеріалу площею 1 м² та товщиною 1 м за 1 секунду, при різниці температур на протилежних поверхнях цього шару в 1°С.

Теплопровідність матеріалу λ залежить від його внутрішньої структури, пористості, вологості та температури.

Коефіцієнт теплопровідності пов'язаний з термічним опором матеріалу R . Чим нижча теплопровідність, тим вищий опір теплопередачі має матеріал.

Також на загальний термічний опір огорожувальної конструкції

$$R_0 = \sum_{i=1}^k \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.3.1.2)$$

де δ_i – товщина i -го шару огороження, м;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності i -го шару,

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони будівлі, $\alpha_1 = 8,7$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі із зовнішньої сторони будівлі, $\alpha_2 = 23$.

K – коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{R_0}; \quad (3.3.1.3)$$

Таблиця 3.3.1.1. Загальна площа огорожуючих конструкцій

п/п №	Найменування	Напрямок відносно сторін світу				
		Північ, м ²	Південь, м ²	Захід, м ²	Схід, м ²	Всього, м ²
1.	Двері	-	11,2	-	1,7	12,9
2.	Вікна	572,9	412,5	741,3	769,1	2358,1
3.	Стіни	448,8	573,5	786,5	758,8	2567,7
4.	Дах	-	-	-	-	3734

Розрахунок тепловтрат через вікна

Термічний опір вікон:

$$R_{\epsilon} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{2 \cdot \delta}{\lambda} + \frac{\delta_{\epsilon}}{\lambda_{\epsilon}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (3.3.1.4)$$

де δ - товщина одного скла, $\delta = 0,004$ м;

λ - теплопровідність скла, $\lambda = 0,76 \frac{Вт}{м^{\circ}C}$;

δ_{ϵ} - товщина повітряного прошарку між склом, $\delta_{\epsilon} = 0,06$ м;

λ_{ϵ} - ефективна теплопровідність зазору, $\lambda_{\epsilon} = 1,5$.

$$R_{\epsilon} = \frac{1}{8,7} + \frac{2 \cdot 0,004}{0,76} + \frac{0,06}{1,5} + \frac{1}{23} = 0,209 \frac{м^2 \cdot C}{Вт},$$

- коефіцієнт теплопередачі вікна:

$$K_{\epsilon} = \frac{1}{R_{\epsilon}} = 4,785 \frac{Вт}{м^2 \cdot C}.$$

Площа вікон, що орієнтовані на Південь: $F_{\text{вікон}}^{\text{ПД}} = 412,5$ м²;

Втрати тепла через вікна Південної стіни:

$$Q_{\text{вікон}}^{\text{ПД}} = K_{\epsilon} \cdot F_{\text{вікон}}^{\text{ПД}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 4,785 \cdot 412,5 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1 \cdot 1 = 55266,75 \text{ Вт}$$

Вікна, які орієнтовані на Північ мають площу: $F_{\text{вікон}}^{\text{ПН}} = 572,9$ м²;

Втрати тепла через вікна Північної стіни:

$$Q_{\text{вікон}}^{\text{ПН}} = K_{\epsilon} \cdot F_{\text{вікон}}^{\text{ПН}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 4,785 \cdot 572,9 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,1 \cdot 1 = 80602 \text{ Вт}$$

Вікна, що орієнтовані на Захід мають площу: $F_{\text{вікон}}^{3X} = 741,3 \text{ м}^2$;

Втрати тепла через вікна Західної стіни:

$$Q_{\text{вікон}}^{3X} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{вікон}}^{3X} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 4,785 \cdot 741,3 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 104299 \text{ Вт}$$

Вікна, що орієнтовані на Схід мають площу: $F_{\text{вікон}}^{CX} = 769,1 \text{ м}^2$;

Втрати тепла через вікна Східної стіни:

$$Q_{\text{вікон}}^{CX} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{вікон}}^{CX} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 4,785 \cdot 769,1 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 108205 \text{ Вт}$$

Загальна площа вікон: $F_{\text{в}} = 2358,1 \text{ м}^2$.

Загальні втрати через вікна:

$$\sum Q_{\text{вікон}} = Q_{\text{вікон}}^{ПН} + Q_{\text{вікон}}^{3X} + Q_{\text{вікон}}^{CX} + Q_{\text{вікон}}^{ПД} = 55266,75 + 80601,892 + 104298,285 + 108204,547 = 345371 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{вікон}} = \frac{345371,474 \cdot 0,00086}{1000} = 0,297 \text{ Гкал}$$

Розрахунок тепловтрат через двері

Коефіцієнт теплопередачі дверей:

$$K_{\text{дверей}} = 2,381 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}};$$

Площа дверей, що орієнтовані на Південь: $F_{\text{дверей}}^{ПД} = 11,2 \text{ м}^2$;

Втрати тепла через двері Південної сторони:

$$Q_{\text{дверей}}^{ПД} = K_{\text{дверей}} \cdot F_{\text{дверей}}^{ПД} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 2,381 \cdot 11,2 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1 \cdot 1 = 746,6 \text{ Вт}$$

Двері, що орієнтовані на Схід мають площу: $F_{\text{дверей}}^{CX} = 1,77 \text{ м}^2$;

Втрати тепла через двері Східної сторони:

$$Q_{\text{дверей}}^{CX} = K_{\text{дверей}} \cdot F_{\text{дверей}}^{CX} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 2,381 \cdot 1,77 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 123,9 \text{ Вт}$$

Загальна площа дверей: $F_{\text{дверей}} = 12,9 \text{ м}^2$.

Загальні втрати через двері:

$$\sum Q_{\text{дверей}} = Q_{\text{дверей}}^{CX} + Q_{\text{дверей}}^{ПД} = 123,902 + 746,682 = 870 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{дверей}} = \frac{870,584 \cdot 0,00086}{1000} = 0,0007 \text{ Гкал}$$

Розрахунок тепловтрат через крівлю

Крівлю виконано із залізобетонних плит, які додатково утеплені плитами з пінобетону. Перекриття суміщене, з руберойду.

Термічний опір крівлі:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{\delta_{пл}}{\lambda_{пл}} + \frac{\delta_{пінбет}}{\lambda_{пінбет}} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_2}$$

де $\delta_{ш}=0,01$ м - товщина шару штукатурки;

$\lambda_{ш}=0,7 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$ - теплопровідність штукатурки;

$\delta_{пл}=0,22$ м - товщина залізобетонної плити;

$\lambda_{пл}=1,55 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$ - теплопровідність залізобетонної плити;

$\delta_{пінбет}=0,16$ м - товщина легкого бетону;

$\lambda_{пінбет}=0,35 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$ - теплопровідність легкого бетону;

$\delta_p=0,008$ м - товщина руберойду;

$\lambda_p=0,17 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$ - теплопровідність руберойду;

$$R_o = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,22}{1,55} + \frac{0,16}{0,35} + \frac{0,008}{0,17} + \frac{1}{23} = 0,819 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт};$$

- коефіцієнт теплопередачі крівлі:

$$K_o = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{0,819} = 1,221 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}.$$

Площа крівлі:

$$F_{даху} = A * B = 15,6 \cdot 65,6 + 137,25 \cdot 19,75 = 3734,048 \text{ м}^2;$$

Втрати тепла через крівлю, що вкритий руберойдом:

$$Q_{даху} = K_o \cdot F_{даху} \cdot (t_g - t_n) \cdot m \cdot n = 1,221 \cdot 3734,048 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1 \cdot 1 = 127659,633 \text{ Вт}$$

$$Q_{даху} = \frac{127659,633 \cdot 0,00086}{1000} = 0,109 \text{ Гкал}$$

Втрати теплоенергії через стіни

Стіни цегляні, а зсередини вкриті шаром штукатурки, ззовні - вкриті плиткою. Сумарний термічний опір стін:

$$R_c = \frac{1}{\alpha 1} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{\delta_{ц}}{\lambda_{ц}} + \frac{\delta_{пл}}{\lambda_{пл}} + \frac{1}{\alpha 2},$$

$\delta_{ш}$ - товщина шару штукатурки, $\delta_{ш}=0,01$ м;

$\lambda_{ш}$ - теплопровідність штукатурки, $\lambda_{ш}=0,7$;

$\delta_{ц}$ - товщина червоної цегли, $\delta_{ц}=0,38$ м;

$\lambda_{ц}$ - теплопровідність червоної цегли, $\lambda_{ц}=0,58$;

$\delta_{пл}$ - товщина фасадної плитки, $\delta_{пл}=0,014$ м;

$\lambda_{пл}$ - теплопровідність фасадної плитки, $\lambda_{пл}=0,5$;

$\alpha 1$ - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони, $\alpha 1=8,7$;

$\alpha 2$ - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої сторони, $\alpha 2=23$.

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,014}{0,5} + \frac{1}{23} = 0,856 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm};$$

коефіцієнт теплопередачі огороження:

$$K_{ст} = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{0,856} = 1,168 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Площа північної стіни: $F_{стінн}^{ПН} = 448,81$ м²;

$$Q_{стінн}^{ПН} = K_{ст} \cdot F_{стінн}^{ПН} \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot m \cdot n = 1,168 \cdot 448,81 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,1 \cdot 1 = 16145,67 Bm$$

Втрати тепла через західну стіну:

Площа західної стіни: $F_{стінн}^{ЗХ} = 786,596$ м².

$$Q_{стінн}^{ЗХ} = K_{ст} \cdot F_{стінн}^{ЗХ} \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot m \cdot n = 1,168 \cdot 786,596 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 27011,077 Bm$$

Втрати тепла через південну стіну:

Площа південної стіни: $F_{стінн}^{ПД} = 573,56$ м².

$$Q_{стінн}^{ПД} = K_{ст} \cdot F_{стінн}^{ПД} \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot m \cdot n = 1,168 \cdot 573,56 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1 \cdot 1 = 18757,71 Bm;$$

Втрати тепла через східну стіну:

Площа східної стіни: $F_{\text{стіни}}^{\text{CX}} = 758,83 \text{ м}^2$.

$$Q_{\text{стіни}}^{\text{CX}} = K_{\text{ст}} \cdot F_{\text{стіни}}^{\text{CX}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 1,168 \cdot 758,83 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 26057,62 \text{ Вт}$$

Загальна площа зовнішніх стін складає: $F_{\text{стіни}} = 2567,7 \text{ м}^2$;

Загальні втрати через стіни:

$$\sum Q_{\text{ст}} = Q_{\text{стіни}}^{\text{ПН}} + Q_{\text{стіни}}^{\text{ЗХ}} + Q_{\text{стіни}}^{\text{CX}} + Q_{\text{стіни}}^{\text{ПД}} = 16145,67 + 27011,077 + 18757,71 + 26057,62 = 87972,077 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ст}} = \frac{87972,077 \cdot 0,00086}{1000} = 0,076 \text{ Гкал}$$

Втрати теплоенергії через підлогу

Підлога залізобетонна, товщиною 220 мм, зверху – цементно-піскова стяжка 70 мм.

Опір теплопередачі підлоги:

$$R_{\text{нід}} = \sum_{i=1}^k \frac{\delta_{\text{нід}}}{\lambda_1} + \frac{\delta_{\text{стж}}}{\lambda_2} = \frac{0,22}{1,55} + \frac{0,07}{1,2} = 0,200 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}}{\text{Вт}};$$

$$K_{\text{нід}} = \frac{1}{R_{\text{нід}}} = \frac{1}{0,200} = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}};$$

Теплові втрати підлоги:

$$Q_{\text{нід}} = F_{\text{нід}} \cdot K_{\text{нід}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n = 3734,048 \cdot 5 \cdot (18 - (-10)) \cdot 0,4 = 209106,688 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{під}} = \frac{209106,688 \cdot 0,00086}{1000} = 0,179 \text{ Гкал}$$

Таблиця 3.3.1.2. Теплові втрати

№ п/п	Огороджуючі конструкції	$F, \text{м}^2$	$Q, \text{Вт.}$	$Q, \text{Гкал.}$	$Q, \text{Дж}$
1.	Двері	12,9	870	0,0007	2931100
2.	Стіни	2567	87970	0,076	318196800
3.	Дах	3734	127659	0,109	456361200
4.	Вікна	2358	345371	0,297	1243479600
5.	Підлога	3734	209106	0,179	749437200

6.	Всього:	12307	770980	0,662	2770405800
----	---------	-------	--------	-------	------------

3.1.2. Розроблені заходи з енергоощадження

МЕЗ №1 Утеплення стін

Аналіз балансу теплової енергії показує, що майже половина витрат тепла припадає на стіни.

Утеплення будівлі пінопластом створює ефект термосу (рис.3.3.1.1).

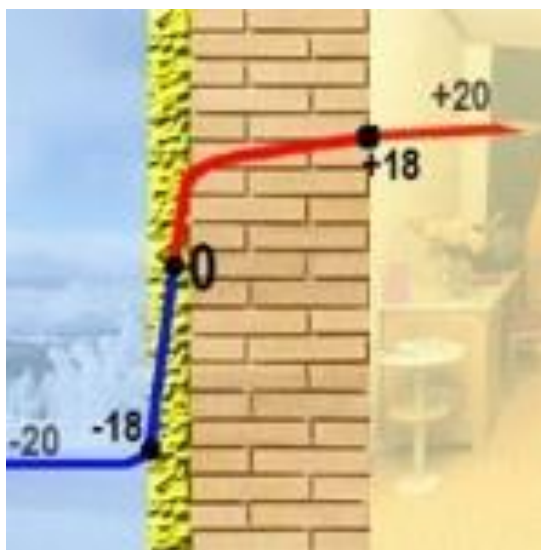


Рисунок 3.3.1.1. Зміна температури в огороженні при встановленні утеплювача

Пропонується утеплення зовнішніх стін корпусу пінопластом товщиною 100 мм, з покриттям шаром штукатурки.

Площа стін корпусу $F_{\text{стін}} = 2567,7 \text{ м}^2$;

Вартість робіт по встановленню 1 м^2 пінопласту становить $B_0=200$ грн.

Загальна вартість робіт по утепленню стін:

$$B_{\text{утеп}} = F_{\text{стін}} \cdot B_0 = 2567,7 \cdot 200 = 513\,560 \text{ грн.}$$

Порахуємо витрати внаслідок теплових втрат через стіни без утеплення:

$$\begin{aligned} C_{\text{безпінопл}} &= Q_{\text{ст.прим}} \cdot T \cdot 24\text{год} \cdot 30\text{дн.} = 0,076 \cdot 818,27 \cdot 24\text{год} \cdot 30\text{днів} = \\ &= 44\,775,7 \text{ грн} \end{aligned}$$

де $T = 818,27$ грн./Гкал – тариф на теплову енергію.

Збільшений опір стін після встановлення додаткового утеплення:

$$R_c = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_u}{\lambda_u} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{\delta_{nl}}{\lambda_{nl}} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$\delta_n = 0,1\text{ м}$ - товщина пінопласту; $\lambda_n = 0,064 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ\text{С}}$ - теплопровідність пінопласту;

$$R_c = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,064} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,014}{0,5} + \frac{1}{23} = 1,637 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$$

$$K_{cm} = \frac{1}{R_c} = \frac{1}{1,637} = 0,611 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$$

Втрати тепла через стіни:

$$Q_{\text{пн}} = K_{\text{ст}} \cdot F_{\text{пн}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,611 \cdot 448,81 \cdot (18 - 10) \cdot 1,1 \cdot 1 = 8448,066 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{сх}} = K_{\text{ст}} \cdot F_{\text{сх}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,611 \cdot 758,83 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 13631,167 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{пд}} = K_{\text{ст}} \cdot F_{\text{пд}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,611 \cdot 573,56 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1 \cdot 1 = 9812,464 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{зх}} = K_{\text{ст}} \cdot F_{\text{зх}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,611 \cdot 786,596 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 14129,939 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ст}} = 8448,066 + 13631,167 + 9812,464 + 14129,939 = 46021,636 \text{ Вт}$$

$$Q_{cm} = \frac{46021,636 \cdot 0,00086}{1000} = 0,04 \text{ Гкал}$$

Вартість тепла, що втрачається через стіни:

$$C_{\text{з пінопл}} = Q_{\text{ст.прим}} \cdot T \cdot 24 \text{ год} \cdot 30 \text{ дн.} = 0,04 \cdot 818,27 \cdot 24 \text{ год} \cdot 30 \text{ днів} = 23\,566,176 \text{ грн}$$

Економія в оплаті протягом 6 міс. опалювального періоду за рахунок зменшення теплових втрат:

$$\Delta C_{\text{прим.}} = (C_{\text{без пінопл.}}^{\text{прим.}} - C_{\text{з пінопл.}}^{\text{прим.}}) \cdot 6 \text{ міс.} = (44775,5 - 23566,176) \cdot 6 = 127\,255,944 \text{ грн}$$

Строк окупності МЕЗ №1:

$$C_{O1} = 513\,560 / 21209,324 = 24 \text{ міс.}$$

Висновок по МЕЗ №1. Капіталовкладення по утепленню стін корпусу пінопластом становить – 513 560 грн.

Економія споживання теплової енергії по будівлі складає –127 255,94 грн. на рік.

МЕЗ №2 Заміна вікон на металопластикові

Замінити вікна на металопластикові «КВЕ».

Площа вікон корпусу $F_{\text{вікон}} = 1945,6 \text{ м}^2$.

Вартість робіт по встановленню вікна 1 м^2 становить $B_0 = 850$ грн.

Загальна вартість робіт по заміні вікон:

$$B_{\text{вікон}} = F_{\text{вікон}} \cdot B_0 = 1945,6 \cdot 850 = 1\,653\,790 \text{ грн.}$$

Перевитрати внаслідок теплових втрат через вікна до заміни:

$$\begin{aligned} C_{\text{беззаміни}} &= Q_{\text{вікон.прим}} \cdot T \cdot 24\text{год} \cdot 30\text{дн.} = 0,245 \cdot 818,27 \cdot 24\text{год} \cdot 30\text{днів} = \\ &= 144\,342,83 \text{ грн} \end{aligned}$$

Коефіцієнт теплопередачі метало-пластикових вікон:

$$K_{\text{вікон}} = 0,64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}};$$

Тоді, тепла втрати через вікна:

$$Q_{\text{вікон}}^{\text{ПН}} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{вікон}}^{\text{ПН}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,64 \cdot 572,949 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,1 \cdot 1 = 11293,9 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{вікон}}^{\text{ЗХ}} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{вікон}}^{\text{ЗХ}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,64 \cdot 741,392 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 13950 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{вікон}}^{\text{СХ}} = K_{\text{в}} \cdot F_{\text{вікон}}^{\text{СХ}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot m \cdot n = 0,64 \cdot 769,159 \cdot (18 - (-10)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 14472,5 \text{ Вт}$$

$$\sum Q_{\text{вікон}} = Q_{\text{вікон}}^{\text{ПН}} + Q_{\text{вікон}}^{\text{ЗХ}} + Q_{\text{вікон}}^{\text{СХ}} = 11293,971 + 13950,032 + 14472,496 = 39716,5 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{вікон}} = \frac{39716,499 \cdot 0,00086}{1000} = 0,034 \text{ Гкал}$$

Вартість тепла, що втрачається через вікна:

$$C_{з \text{ заміною}} = Q_{\text{вікон зам.прим}} \cdot T \cdot 24\text{год} \cdot 30\text{дн.} = 0,034 \cdot 818,27 \cdot 24\text{год} \cdot 30\text{днів} = 20\,031,25 \text{ грн}$$

Загальна економія протягом 6 міс. опалювального періоду за рахунок заміни вікон:

$$\Delta C_{\text{прим.}} = (C_{\text{без заміни}}^{\text{прим.}} - C_{з \text{ заміною}}^{\text{прим.}}) \cdot 6 \text{ міс.} = (144342,83 - 20031,25) \cdot 6 = 745\,869,48 \text{ грн}$$

Строк окупності МЕЗ №2:

$$C_{O2} = 1\,653\,794 / 124311 = 13,5 \text{ місяців.}$$

Висновок по МЕЗ №2. Капіталовкладення по заміні вікон корпусу становить – 1 653 794 грн.

Загальна економія споживання теплової енергії по будівлі складає – 745 869,5 грн. на рік.

3.3.2. Розрахунок за питомими опалювальними характеристиками

Розрахунково-нормативне максимальне $Q_{o \text{ max}}$ споживання теплової енергії на опалювання:

$$Q_{o \text{ max}} = \alpha \cdot V_n \cdot q_o \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}), \text{ Вт}; \quad (3.3.2.1)$$

$$Q_{o \text{ max}} = 1,45 \cdot 55295 \cdot 0,279 \cdot (18 - (-10)) = 626348,58 \text{ Вт};$$

$$Q_{o \text{ max}} = (626348,58 \cdot 0,00086) / 1000 = 0,539 \text{ Гкал};$$

де $t_{\text{вн}}$ – середня температура внутрішнього повітря приміщень;

$t_{\text{н.о}}$ – температура зовнішнього повітря;

V_n – зовнішній будівельний об'єм будівлі;

q_o – питома опалювальна характеристика громадських будівель;

α – поправочний коефіцієнт з таблиці 3.3.2.1.

Таблиця 3.3.2.1. Поправочний коефіцієнт

$t_{\text{н.о}}, ^\circ\text{C}$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-35	-40	-45
α	2,05	1,67	1,45	1,29	1,17	1,08	0,95	0,9	0,85

3.2. Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію

Теплонавантаження на вентиляцію Для промислових підприємств визначають по укрупненим показниках:

$$Q_B^p = q_B V_3 (t_{B.p.} - t_{p.B.}), \quad (3.2.1)$$

де q_B – питома вентиляційна характеристика будівлі,

$t_{p.B.}$ – температура зовнішнього повітря;

виконаємо розрахунок теплових навантажень на вентиляцію, Дані для розрахунку: $t_{B.p.} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; $q_B = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $V_3 = 55,295 \text{ тис. м}^3$.

Теплове навантаження на опалення:

$$Q_B^p = q_B \cdot V_3 \cdot (t_{B.p.} - t_{p.B.}) = 0,14 \cdot 55295 \cdot (18 - (-10)) = 216\,756,4$$

Результати розрахунку приведено в таблиці 3.2.1

Таблиця 3.2.1 Результати розрахунку теплового навантаження на вентиляцію

№	Назва будівлі	$V, \text{тис. м}^3$	$q_B, \text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	$t_{B.p.}, ^\circ\text{C}$	$Q_B^p, \text{Вт}$
1.	Адм.корпус	55,3	0,14	18	216 756

4. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ

4.1. Дослідження впливу температурного режиму на теплові втрати

В системах опалення з елеваторним вузлом та центральним якісним регулюванням теплопостачання часто виникає проблема "перетопу" приміщень. Це пов'язано з тим, що температура теплоносія в подавальному трубопроводі залишається постійною протягом певного часу, незважаючи на зміну теплового навантаження будівлі.

Тривалість періоду сталої температури та "перетопу" залежить від заданої температури теплоносія в точці зламу температурного графіка системи теплопостачання.

Отже, недоліком елеваторних вузлів з погляду енергоефективності є неможливість забезпечення пропорційного регулювання теплового потоку відповідно до поточного навантаження будівлі. Це призводить до додаткових витрат теплової енергії.

При підвищенні температури зовнішнього повітря від моменту «зламу» $t_{зм}$ до $+10^{\circ}\text{C}$ виникає чималий «перетоп» в системах опалювання

$$\Delta Q_{\text{пер}} = Q - Q_{10}, \quad (4.1.1)$$

де Q - теплове навантаження на опалювання для температури точки зламу опалювального графіку;

Q_{10} - необхідне теплове навантаження на опалювання для температури зовнішнього повітря.

При відключенні системи опалювання для розрахунку часу, протягом якого температура усередині приміщення знизиться на допустиму величину (2°C):

$$t_{\epsilon} = t_n + \frac{Q_0}{q_0 \cdot V} + \frac{t'_{\epsilon} - t_n - \frac{Q_0}{q_0 \cdot V}}{e^{z/\beta}}, \quad (4.1.2)$$

де t_B – внутрішня температура, яка встановиться через час;

t'_B – внутрішня температура, яка була в приміщенні у момент порушення теплового режиму;

t_H – температура зовнішнього повітря за період порушення режиму;

Q_0 - подача теплоти в приміщення;

$q_0 V$ – питомі розрахункові тепловтрати;

e – основа натур. логарифма;

β – коефіцієнт акумуляції будівлі.

За результатами дослідження коефіцієнт акумуляції в обчислюється:

$$\beta = \frac{Z}{\ln \frac{t'_{\epsilon} - t_n - Q_0/q_0 \cdot V}{t_{\epsilon} - t_n - Q_0/q_0 \cdot V}}, \quad (4.1.3)$$

де Z - час виходу внутрішньої температури на розрахункове значення;

t'_B, t_B - нормальна і понижена температура.

Час z_a зниження внутрішньої температури приміщень від розрахункової величини t'_B до допустимої межі t_B при повному виключенні опалювання:

$$z_a = \beta \cdot \ln \frac{t'_{\epsilon} - t_n}{t_{\epsilon} - t_n}, \quad (4.1.4)$$

Час зниження внутрішньої температури від t'_B до t_B з неповним пропуском теплоносія Q_0 зростає:

$$z_a = \beta \cdot \ln \frac{t'_{\epsilon} - t_n - Q_0/q_0 \cdot V}{t_{\epsilon} - t_n - Q_0/q_0 \cdot V}, \quad (4.1.5)$$

Щоб уникнути проблеми "перетопів" в системах з елеваторними вузлами, можна застосувати такі рішення:

Використання регульованого насоса з широким діапазоном регулювання подачі на перемичці елеватора, що дозволяє змінювати витрату теплоносія відповідно до поточного навантаження (Рис. 4.1.1).

Застосування автоматизованої схеми елеваторного вузла з терморегулятором та додатковим циркуляційним насосом для підтримання необхідної температури теплоносія автоматично (Рис. 4.1.1).

Для забезпечення розрахункової температури мережевої води в діапазоні $120-70^{\circ}\text{C}$ коефіцієнт змішування елеваторного вузла з заявленими параметрами теплоносія повинен становити 1,2.

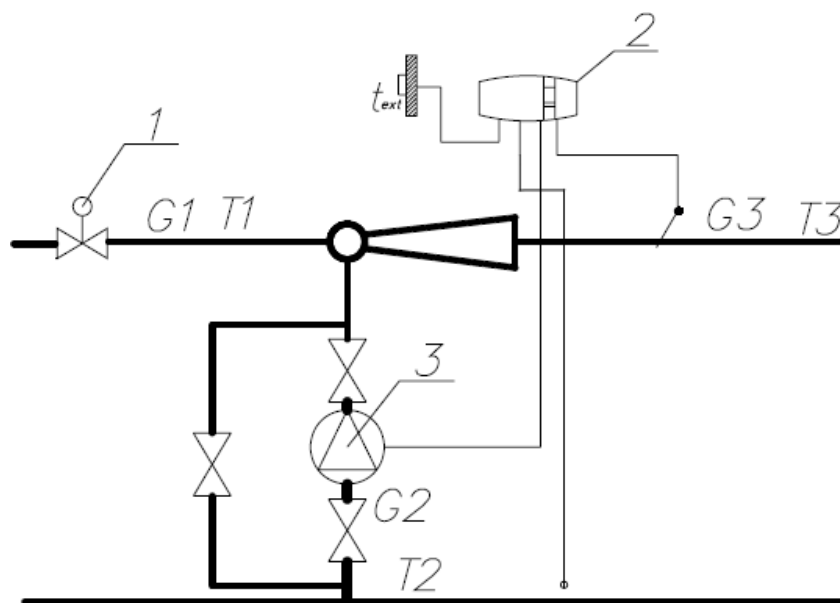


Рис. 4.1.1. Схема елеваторного вузла з відцентровим насосом на перемичці: 1 - регулятор тиску; 2 - контролер; 3 - відцентровий насос

Має забезпечуватися суворя відповідність температури теплоносія зовнішній температурі (рис. 4.1.2). Проте, означена залежність не дотримується (рис. 4.1.2, крива 1).

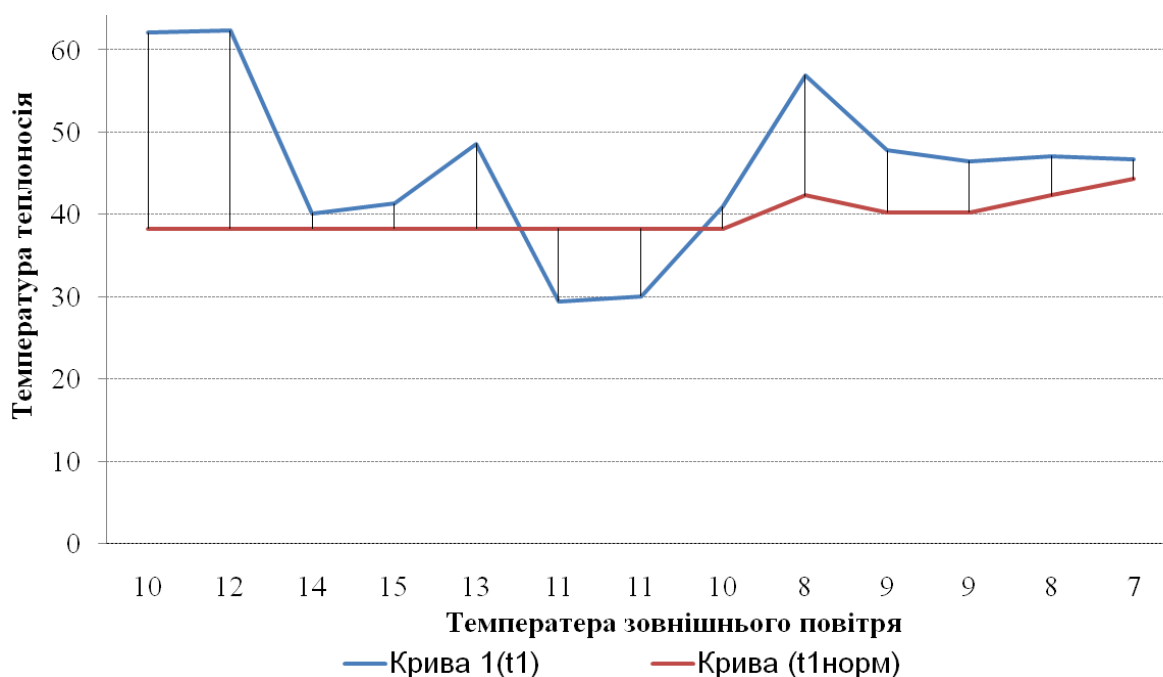


Рис. 4.1.2. Залежність температури теплоносія при коливаннях зовнішніх температур

4.2. Регулювання температурним режимом приміщень

Основним завданням систем регулювання опалення є підтримання постійної заданої температури повітря в приміщеннях або зміна цієї температури згідно з температурним графіком.

Для регулювання температури окремих приміщень можуть застосовуватися радіаторні терморегулятори, які автоматично змінюють тепловіддачу опалювальних приладів в залежності від температури повітря в приміщенні.

Замість ручного регулювання терморегуляторів рекомендується використовувати їх автоматичне управління за принциповою схемою, зображеною на Рис. 4.2.1. Це дозволяє підвищити ефективність і точність підтримання заданої температури.

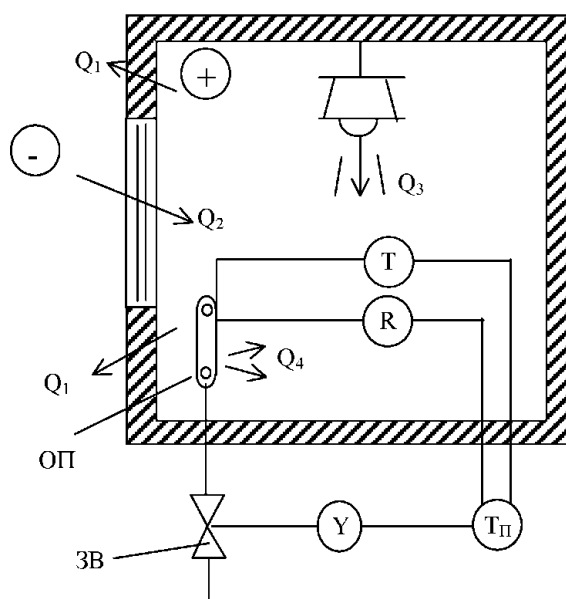


Рис. 4.2.1 - Автоматичне регулювання температури:

ЗВ - запірний вентиль; ОП - опалювальний прилад; Q_1 - теплові втрати приміщення; Q_4 - надходження тепла від системи опалення; Q_2 - надходження тепла від сонячної енергії; Q_3 - надходження тепла від джерел світла ламп; R - регулятор тепла; T - датчик температури; Y - прилад керування регульовальним клапаном

Теплове навантаження системи опалення визначається тепловими втратами та надходженнями. Втрати залежать від стану огорожувальних конструкцій та різниці температур зовні і всередині приміщень. До теплонадходжень відносять сонячне випромінювання, тепло від освітлення, устаткування та людей.

У системах централізованого теплопостачання регулювання теплового навантаження (температури теплоносія) здійснюється на джерелах тепла залежно від зовнішньої температури. При цьому неможливо врахувати індивідуальні вимоги споживачів до мікроклімату приміщень.

Автономні системи опалення зазвичай мають лише ручне регулювання. Модернізація з впровадженням автоматики дозволить знизити витрати палива.

Регулювання температури всередині приміщень обмежується лише кранами на радіаторах. Встановлення автоматичних радіаторних регуляторів забезпечить необхідний рівень тепловіддачі.

Ефективна система управління включає центральний контролер та індивідуальні прилади регулювання на опалювальних приладах. В будь-якому випадку, умовою нормального функціонування є гідравлічне балансування системи.

Центральне регулювання (АТР)

Основні переваги централізованого регулювання:

Зменшення теплових втрат при розподілі теплоносія за рахунок зниження його температури

Підвищення ефективності радіаторних терморегуляторів при грубому попередньому регулюванні з боку центральної системи

Скорочення часу роботи опалення і додаткова економія при зниженні температури в нічний час

Центральне регулювання здійснює грубе коригування температури з подальшим точним дорегулюванням індивідуальними радіаторними контролерами.

Існує декілька способів зміни температури теплоносія в централізованих системах:

Змішуванням води з подавального та зворотного трубопроводів

Безпосереднім регулюванням температури котлової води шляхом управління пальниками. Дозволяє зменшити час холостого ходу котлів.

В якості регулюючих елементів використовуються регулювальні клапани та елеватори. Клапани застосовують в системах залежного й незалежного приєднання, елеватори - лише залежного (ІТП) (рис. 4.2.2).

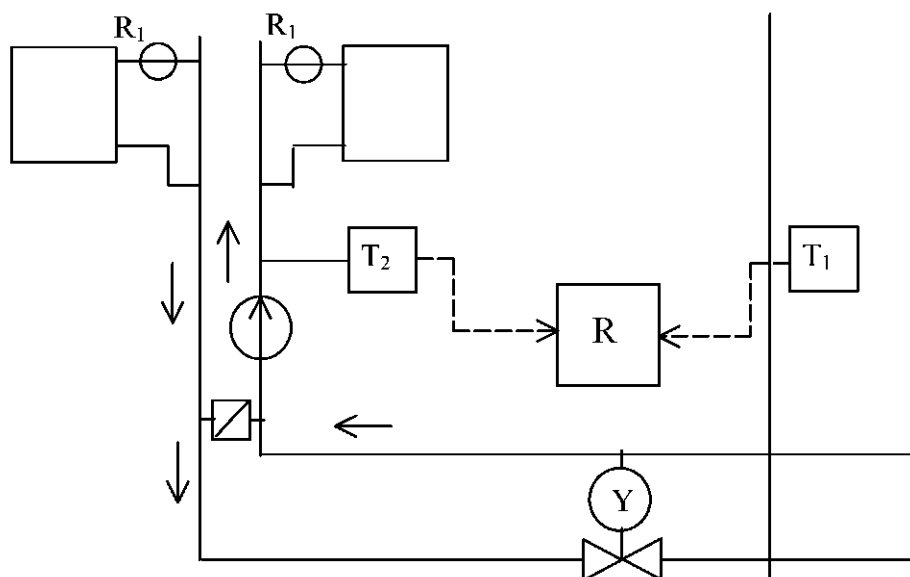


Рис. 4.2.2 - Центральне регулювання системи опалення:

R - Регулятор; T_1 - датчик температури в приміщенні; T_2 - датчик температур в системі; Y - управління регулювальним клапаном; R_1 - індивідуальний регулятор

Індивідуальне регулювання

Головна перевага індивідуального регулювання - можливість задовольнити особисті вимоги користувачів до температурного режиму окремих приміщень.

Завданням індивідуального регулювання є управління витратою теплоносія через окремі опалювальні прилади. Заміна звичайних теплових вентилів на термостатичні дозволяє заощадити до 10% теплової енергії.

Термостатичні радіаторні вентиля виконують подвійну функцію: по-перше, користувач може самостійно регулювати температуру в приміщенні, по-друге, вентиля автоматично підтримують задане значення.

В однотрубних системах опалення застосовують радіаторні терморегулятори з великою пропускною здатністю типу RTD. У двотрубних системах використовують клапани RTD-N.

Терморегулятори RTD автоматично підтримують температуру в приміщеннях на заданому рівні незалежно від зовнішніх умов та додаткових

джерел тепла. Це дозволяє заощадити понад 20% теплової енергії залежно від параметрів системи.

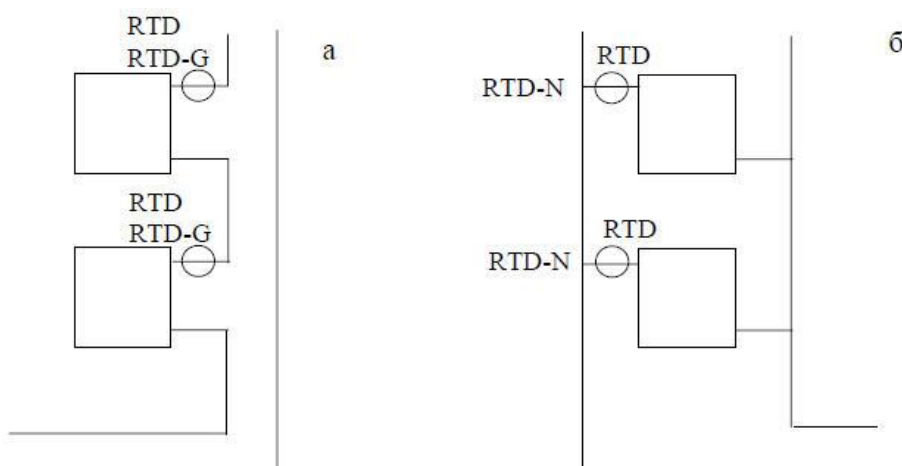


Рис. 4.2.3 - Індивідуальне регулювання для систем опалення:
однотрубної (а) та двотрубної (б)

За допомогою запірного клапана RLV (табл. 4.2.4 дод.А) можна здійснювати відключення окремого радіатора і його демонтаж, не спускаючи води.

4.3. Розробка АТР для мінімізації витрат на опалення

Мікропроцесорні блоки терморегулювання призначені для оптимізації автоматичного управління системою опалювання будівлі на виході теплообмінника.

Технічні характеристики АТР

Основні технічні характеристики регулювальника приведені в таблиці 4.3.1

Таблиця 4.3.1

Характеристики	Значення
Напруга мережі	~187...240 В
Частота	50 Гц
Споживана потужність	до 3,5 ВА
<i>Продовження таблиці 4.3.1</i>	
Умови експлуатації :	

температура довкілля	до 55°C
вологість повітря	до 95%
Захист : - блоку управління - термодавача повітря	IP20 IP63
Кількість контролю температури	6
Межі виміру	від -40°C до 125°C
Тип термоперетворювачів	Термодавачі на базі мікросхеми
Дискретність температури	1°C
Кількість управління пристроями (клапанами)	2
Кількість релейних виходів	2
Параметри виходів	250 В, 8А, $\cos \varphi=1$
Архів даних (пам'ять)	Значення усіх температур за 72 години
Час налаштування коефіцієнтів регулювання	30 хвилин
<i>Продовження таблиці 4.3.1</i>	
Режим роботи	Цілодобовий
Термін служби	10 років

Склад комплекту автоматичного терморегулювання (АТР):

Блок керування

Датчик температури зовнішнього повітря (ТВН)

Занурювальний датчик температури (ТВП)

На передній панелі блоку керування розташовані рідкокристалічний дисплей та кнопки управління. Підключення зовнішніх ланцюгів здійснюється через клемні колодки ХТ1 і ХТ2 згідно схем, наведених у Додатку Г.

Принцип роботи регулятора полягає в автоматичному підтриманні заданої температури теплоносія на виході контурів опалення за температурним графіком.

Блок АТР постійно опитує датчики температури і періодично надсилає керуючі сигнали залежно від розбіжності між виміряною та заданою температурою.

Програмне забезпечення забезпечує швидку (за 20 хв.) адаптацію до параметрів системи опалення.

Управління блоком та налаштування виконується за допомогою клавіатури на передній панелі в інформаційних вікнах (меню) на дисплеї.

Регулювання системи опалювання

При регулюванні незалежної системи опалення (Рис. В.1) контролер підтримує задану температуру теплоносія на виході теплообмінника (T_c) або температуру зворотної води (T_e) залежно від показань датчика температури зовнішнього повітря (T_n). Регулювання здійснюється за температурним графіком шляхом зміни пропускної здатності регулюючого клапана.

Користувач вибирає яку саме температуру буде підтримувати контролер - T_c або T_e .

Керування циркуляційними насосами може здійснюватися як зовнішньою автоматикою, так і через релейні виходи самого регулятора. Також задається реакція на аварійний стан датчиків.

При регулюванні залежної системи опалення (Рис. В.2) контролер підтримує температуру змішаної води T_c згідно температурного графіка та показань датчика T_n .

Для захисту від замерзання контролюється температура зворотної води T_e .

У вимкненому стані насоса регулюючий клапан знаходиться у відкритому положенні.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз методів підвищення енергоефективності системи теплопостачання адміністративного корпусу комбінату "Ятрань". Розглянуто питання доцільності впровадження автоматичного регулювання температурного режиму.

2. Розроблена система автоматичного підтримання температури дозволить зменшити витрати на оплату перевищення лімітів споживання теплової енергії та покращити санітарно-гігієнічні умови в приміщеннях.

3. Результати досліджень можуть бути використані для оптимізації режимів теплопостачання, зниження теплових втрат та підвищення рівня теплового комфорту у всіх будівлях комбінату.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1- Закон України «Про енергетичну ефективність будівель».
- 2- Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 172 від 11.07.2018 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката».
- 3- ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво»;
5. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель;
- 6- ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будинків»;
- 7- ДСТУ Б EN ISO 10077-1:2016 «Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі»;
- 9- ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, освітленні та гарячому водопостачанні»;
- 10- ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 «Енергетична ефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель»;
- 12- ДСТУ Б EN 15251:2011 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики»;
- 13- ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 «Енергоефективність будинків. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження»
- 14- ДБН В.2.6-33:2008 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації»;
- 15- ДСТУ Б EN 15603:2013 «Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки» (EN 15603:2008, IDT);

- 16- ДСТУ ISO 10211-2:2005 «Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків і поверхневих температур. Частина 2. Лінійні теплопровідні включення (ISO 10211-2:1995, IDT)»;
- 17- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»;
- 18- ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»;
- 19- ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) "Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення";
- 20- ДБН В.2.2-9-2009 «Громадські будинки та споруди. Основні положення»;
21. В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. – К.: Освіта України, 2009. – 438 с.
22. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О.І. Соловей, В.П. Розен, П.Г. Плешков, С.В. Серебренніков, В.Ф. Ткаченко, К.Г. Петрова]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: видавець Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
23. Паливно-енергетичний комплекс України у цифрах та фактах / М. П. Ковалко, Ю. О. Віхарєв, С. П. Денисюк [та ін.] – К. : Українські енциклопедичні знання, 2020. – 152 с.
24. Енергетика світу та України. Цифри та факти / Г. К. Вороновський, С. П. Денисюк, О. В. Кириленко [та ін.] – К. : Українські енциклопедичні знання, 2015. – 404 с.
25. Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В.. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. - К.: Освіта України, 2008. - 438 с.
26. Ратушняк Г. С., Попова Г. С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції.- Вінниця: ВДТУ, 2011. - 122 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Таблиця 2.1.3.2 Енергозберігаючі заходи

Позначення	Найменування заходу	Межі річної економії, %
<i>Системи опалювання</i>		
1	Складання керівництва по експлуатації і обслуговуванню систем опалювання, періодичний контроль	5-10 % від споживання тепловій енергії
2	Оснащення систем опалювання лічильниками тепла	20 % від споживання тепловій енергії
3	Зниження теплоспоживання за рахунок установки індивідуальних теплових пунктів (ІТП) та автоматизації систем опалювання	20-30 % від споживання тепловій енергії
4	Зниження втрат тепла з інфільтруючим повітрям шляхом ущільнення дверей і віконних стиків	10-20 %
5	Зниження трансмісійних втрат через віконні отвори шляхом установки третього скла чи плівки	15-30 %
6	Поліпшення теплової ізоляції стін, підлог і дахів	25-60 %
7	Зняття декоративних обгороджувачів з радіаторів і установка тепловібивачів за радіаторами	5-10 %
8	У разі підвищення температури в приміщеннях понад 18 °С знижувати подачу теплоносія	10 %
9	Зниження подачі тепла в неробочий час, вихідні та святкові дні	5-10 %
<i>Системи гарячого водопостачання (ГВП)</i>		
1	Складання обслуговуванню систем ГВП і періодичний контроль з боку керівництва установи за виконанням	5-10 % від споживання гарячої води
2	Зниження споживання за рахунок регулювання температури	10-20 % від споживання
3	Своєчасне усунення витоків	5-10 % від

		споживання
<i>Системи вентиляції</i>		
1	Заміна застарілих вентиляторів з низьким ККД на сучасні	20-30 % електроенергії
2	Застосування частотного регулювання швидкості обертання	25-30 %
3	Регулювання подачі повітродувок шиберами	15 %
4	Регулювання витяжної вентиляції шиберами замість на нагнітанні	10 %
5	Відключення вентиляційних установок в час обідніх перерв і в неробочий час	20-50 %
6	блокування індивідуальних витяжних систем	20-30 %
7	Застосування блокування вентилятора повітря завіс з механізмами відкривання дверей	До 70 % електроенергії
8	Застосування пристроїв автоматичного управління вентиляційними установками залежно від температури зовнішнього повітря	10-15 %
<i>Системи кондиціонування</i>		
1	Включення кондиціонера тільки коли необхідно	20-60% електроенергії
3	Зменшення уставки на охолодження і нагрівання повітря	5 %
4	Підтримка в робочому стані поверхонь теплообмінників і устаткування	2-5 %
5	Мінімізувати повітря що підводиться до приміщення	5 %

Таблиця 2.2.1 - Розподіл теплової енергії між споживачами систем центрального тепlopостачання з врахуванням втрат теплової енергії для України

Джерело втрат	Втрата теплової енергії	
	млн. ГДж	%
Опалення	876	59,3
Вентиляція	23	1,5
Гаряче водопостачання	299	20,2
Втрати:		
- при виробництві тепла	232	-
- в теплових мережах	47	-
- загальні втрати	247	19,0
Взагалі	1477	100

Таблиця 2.3.1. Розрахункова температура в перерізах огорожуючої конструкції

Точка перерізу	Температура зовнішнього повітря, °C																						
	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
τ _{внутр} (штукатурка)	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15,5
τ ₁₋₂ (цегла)	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15,2
τ ₂₋₃ (плитка)	-19	-18	-17	-16	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-2	-1	0,3	1,2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Таблиця 2.3.2. Розрахункова температура в перерізах конструкцій при встановленні утеплювача (пінопласт)

Точка перерізу	Температура зовнішнього повітря, °C																						
	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
τ _{внутр} (штукатурка.)	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	16,7
τ ₁₋₂ (цегла)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	16,6
τ ₂₋₃ (пінопласт)	-1	-1	-0	0,3	0,7	1,2	1,7	2,2	2,7	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,5	6	6,5	7	7,5	7,9	8,4	8,9	9,4
τ ₃₋₄ (плитка)	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0	0,8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Примітка: червоний колір ілюструє + температури, блакитний - від'ємні.

Таблиця 2.2.3.1 - Теплозахисні якості існуючих вікон та пропонуваніх варіантів їх заміни

Конструкція вікна	Тип	Розміри		Опір тепло-передачі м ² °C/Вт	Коефіцієнт тепло-провідності, К Вт/м ² °C	Конструкція вікна для заміни
		висота, мм	ширина, мм			
а) існуючі вікна						
Дерев'яна подвійна рама, два скла без прокладки	ОС 15.09	1464	880	0,35	2,86	Дерев'яні окремі рами три скла (одне скло + подвійний склопакет)
	ОС 15.12	1464	1146	0,34	2,94	
	ОС 15.15	1464	1483	0,339	3,0	
	ОС 18.18	1759	1760	0,34	2,95	
	ОС 18.21	1759	2060	0,31	3,2	
	ОС 21.18	2059	1760	0,31	3,26	
	ОС 21.24	2059	2310	0,31	3,291	
б) пропонувані варіанти заміни вікон						
Дерев'яні окремі рами три скла (одне скло + подвійний склопакет)	ОС 15.09	1464	880	0,61	1,64	
	ОС 15.12	1464	1146	0,6	1,67	
	ОС 15.15	1464	1483	0,56	1,79	
	ОС 18.18	1759	1760	0,51	1,96	
	ОС 18.21	1759	2060	0,50	2,0	
	ОС 21.18	2059	1760	0,50	2,0	
	ОС 21.24	2059	2310	0,49	2,05	

Таблиця 4.2.1 - Радіаторні терморегулятори RTD

Тип	Модель	Діапазони температур, °C
RTD4500	Вмонтований датчик	6-26
RTD4502	Дистанційний датчик	6-26
RTD4520	Вмонтований датчик з обмеженою максимальною температурою	6-26
RTD4550	Дистанційний датчик з обмеженою максимальною температурою	6-21
RTD4552	Елемент дистанційного керування	6-21
RTD3562	Елемент дистанційного керування	6-28
RTD3565	Елемент дистанційного керування	6-28
RTD3568	Елемент дистанційного керування	6-26

Додаток Б.

ОХОРОНА ПРАЦІ. Розрахунок заземлення

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металічних неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замкнення на корпус і по інших причинах (індуктивний вплив сусідніх струмоведучих частин, виніс потенціалу і т. п.).

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ на стороні 0,4 кВ мають глухозаземлену нейтраль. З'єднання обмоток цехових трансформаторів - Δ/Y з нулем. Струм замикання на землю 27 А. Грунт – супісь, другий кліматичний район.

Розрахунок зводиться до:

1. Визначається норма на опір заземлення R_z^H .

Якщо заземлюючий пристрій використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В та вище:

$$R_z \leq \frac{125}{I_z} = \frac{125}{27} = 4,63 \text{ Ом}$$

Згідно ПУЕ, так як сумарна потужність струмоприймачів більш 100 кВА то R_z повинен бути не понад 4 Ом. Приймається $R_z = 3 \text{ Ом}$.

2. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi = 250 \cdot 1,4 = 350 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

де $\rho_{\text{табл}}$ - табличне значення, для супіску $\rho_{\text{табл}} = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

ψ - підвищуючий коефіцієнт, для України, для стержньових заземлювачів $\psi = 1,4$.

3. Опір одинарного вертикального заземлювача:

$$\begin{aligned} R_o &= 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \\ &= 0,366 \frac{350}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{2,5} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 20,361 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

де l – довжина заземлювача, приймається 5 м; d – діаметр заземлювача (приймаються стрижні діаметром 2,5 см).

$$t = h + \frac{l}{2} = 0,5 + \frac{5}{2} = 3 \text{ м},$$

де h – глибина прокладки смуг (згідно ПУЕ – 0,5...0,8 м).

Приймаються електроди прокладені по замкнутому контуру згідно плану та визначається орієнтовна кількість заземлювачів:

$$n_o = \frac{R_o}{R_3 \cdot \eta_t} = \frac{20,361}{3 \cdot 0,59} = 11,403 \approx 11 \text{ шт}$$

де η_o – коефіцієнт використання ряду заземлювачів, для $a/l=4/5=0.8$, $\eta_o=0,59$.

де $a = 4$ м – відстань між електродами згідно ПУЕ.

4. Довжина горизонтальної з'єднувальної смуги:

$$l_n = 1,05a \cdot n = 1,05 \cdot 4 \cdot 11 = 46,2 \text{ м}.$$

5. Опір смуги з урахуванням екранування:

$$R_n = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l_n \cdot \eta_n} \lg \frac{2l_n}{b \cdot n} = 0,366 \frac{350}{46,2 \cdot 0,59} \lg \frac{2 \cdot 46,2^2}{0,01 \cdot 0,5} = 64,1 \text{ Ом},$$

де η_n – коефіцієнт використання з'єднувальної смуги шириною $b = 10$ мм та товщиною 5 мм.

6. Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувальної смуги:

$$R_{\text{тр}} = \frac{R_n \cdot R_3^H}{R_n \cdot R_3^H - 3} = \frac{64,1 \cdot 3}{64,1 - 3} = 3,1 \text{ Ом}.$$

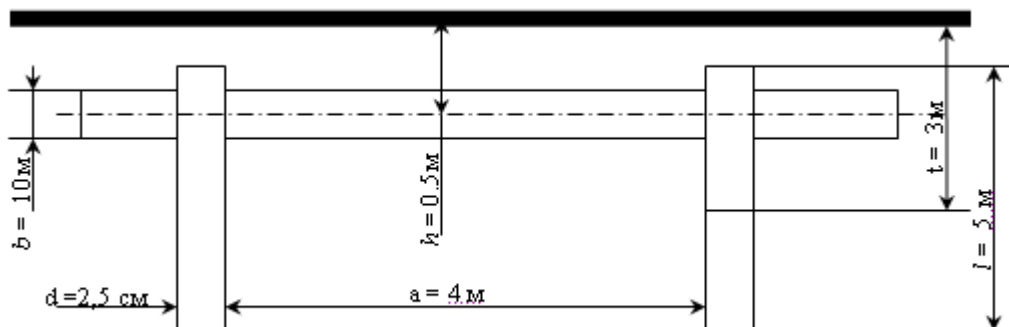


Рисунок - Схема прокладки заземлення

7. Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_o}{R_{mp} \cdot \eta_o} = \frac{20,361}{3,1 \cdot 0,59} = 11,13 \approx 11 \text{ шт.}$$

8. Проводиться перевірка опору заземлювача і порівнюється отримане значення з нормуємим:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{mp}} + \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\frac{1}{3,1} + \frac{1}{64,1}} = 2,95 \text{ Ом.}$$

Дійсний опір заземлюючого пристрою не перевищує нормуючого значення.