

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення енергоефективності теплової ізоляції будинків  
на основі результатів тепловізійних досліджень.

Виконав(ла): \_\_\_\_\_ курсу  
студент(ка) VI, групи ЕЕМ-61  
спеціальнос \_\_\_\_\_  
ті 141 Електроенергетика,  
\_\_\_\_\_ електротехніка та

\_\_\_\_\_ електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

\_\_\_\_\_ Гусак Т.О.  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(прізвище та  
ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Зінь М.М.  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(прізвище та  
ініціали)

Завідувач \_\_\_\_\_ Тарасенко М.Г.  
кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(прізвище та  
ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_ Медвідь В.Р.  
(підпис) \_\_\_\_\_  
(прізвище та  
ініціали)



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

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О.Я., к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Вакуленко О.О., старший викладач		

7. Дата видачі завдання

29 вересня 2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка



## РЕФЕРАТ

Гусак Т.О. Підвищення енергоефективності теплової ізоляції будинків на основі результатів тепловізійних досліджень, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕМм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2021.

Стор. –69; рис. –18; табл. –3; плакатів –8; джерел –23.

У кваліфікаційній роботі приведено результати аналізу, теоретичних досліджень та розрахунків систем теплоізоляції огорожувальних конструкцій будівельних споруд житлового та виробничого призначення.

Проведено аналітичний огляд теплотехнічних та інших механічних характеристик сучасних теплоізоляційних матеріалів, які використовуються для утеплення огорожувальних конструкцій будівельних споруд. Вказано на необхідність використання енергоефективних теплоізоляційних матеріалів, як найбільш придатних по теплотехнічних параметрах та енергоощадних у порівнянні іншими.

Рекомендації по утепленню корпусу котла, розроблені після проведення тепловізійних досліджень були виконані на підприємстві «Тернопільтепло».

**Ключові слова:** тепла камера, теплоізоляція, коефіцієнт теплової ізоляції, густина теплового потоку, теплопровідність, термостійкість, опалювальний котел, теплообмінник, термограма, MathCad.

## ABSTRACT

Husak Tymofiy. Increasing the energy efficiency of thermal insulation of buildings based on the results of thermal imaging research. 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil’ Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, group EMM-61. – Ternopil: TNTU, 2021.

Page – 69; Illustrations – 18; Tables – 3; Blueprints – 8; Sources – 23.

The qualification work presents the results of analysis, theoretical research and calculations of thermal insulation systems of enclosing structures of residential and industrial buildings.

An analytical review of thermal and other mechanical characteristics of modern thermal insulation materials used for insulation of enclosing structures of buildings. The need to use energy-efficient thermal insulation materials as the most suitable for thermal parameters and energy-saving in comparison with others.

Recommendations for insulation of the boiler body, developed after thermal imaging studies were implemented at the enterprise «Тернопільтепло».

**Key words:** thermal chamber, thermal insulation, coefficient of thermal insulation, heat flux density, thermal conductivity, heat resistance, boiler, heat exchanger, thermogram, MathCad.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	12
1.1 Актуальність та історичний контекст утеплення будинків .....	12
1.2 Огляд теплоізоляційних матеріалів і технології їх виробництва .....	16
1.3 Ключові процеси та обладнання для виготовлення теплоізоляційних матеріалів .....	22
1.4 Основні властивості піноскла як теплоізоляційного матеріалу .....	23
1.5 Висновки до розділу .....	26
2 НАУКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	27
2.1 Вибір матеріалу теплоізолятора за його характеристиками .....	27
2.2 Розрахунок товщини шару рідкої теплоізоляції .....	33
2.3 Визначення теплового навантаження на опалення .....	37
2.4 Методика використання тепловізорів для визначення енергетичної ефективності теплової ізоляції .....	40
2.5 Моніторинг огорожувальних будівельних конструкцій тепловізором .....	46
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	48
3.1 Технологічні аспекти пінополіуретанового наплення .....	48
3.2 Дослідження роботи та теплоізоляції твердопаливного котла УТВ-2,5 .....	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	57
4.1 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	57
4.1.1 Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом .....	57
4.1.2 Дія електричного струму на організм людини .....	59
4.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	61
4.2.1 Пожежна безпека на об'єкті, що проектується .....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	65





## ВСТУП

Дискомфорт від прохолоди, на мою думку, відчував, мабуть, кожен житель нашої планети, навіть ті, що проживають у регіонах поблизу екватора. Допоки існуватиме людство, практично завжди виникатиме проблема теплової ізоляції, що, у свою чергу, призводитиме до створення все нових більш досконалих технологій вирішення її. Люди не завжди усвідомлюють, що майже 80 відсотків енергії, яка споживається будівлями, можна заощадити завдяки належній ізоляції будівельних конструкцій. За дослідженнями, проведеними в останні 20 років, теплоізоляція є чи не найбільш простим та продуктивним і економічно привабливим способом підвищення енергоефективності всіх видів будівельних конструкцій. Її проводять, щоб сповільнити процеси розсіювання енергетичних ресурсів у зовнішнє середовище. Звичайно, це вимагає відповідних затрат – у холодну пору року приміщення, будівлі, інші будівельні конструкції мають опалюватися, а влітку, у жарку пору року, – охолоджуватися. На згадані процеси опалення чи охолодження у більшості випадків затрачається енергія теплових електростанцій, газових, торфових, у меншій мірі, інших альтернативних котелень, що спричинює викиди CO<sub>2</sub>, а цей газ пришвидчує кліматичні зміни. Вуглекислий газ – це один із парникових газів, який, в основному, впливає та створює глобальне потепління. Крім того самі будівлі спричинюють значну кількість викидів CO<sub>2</sub>, приблизно 38%, за даними попередньо згаданих досліджень. Тому зрозуміло, що споживання енергії супроводжується її витратами – для будинків (у яких проживають люди), інших будівельних конструкцій компаній та суспільства в цілому. Створення якісної теплоізоляції забезпечить енергоефективність найрізноманітніших будівель.

Є можливість впливати на енергоефективність будівельних конструкцій вже на стадії їх проектування, проводячи оптимальний підбір енергоощадних та будівельних матеріалів. Проте найважливішою частиною енергоефективності будівельних конструкцій є їх належна та достатня теплоізоляція.

Енергоспоживання (в основному тепла), яке необхідне для обігріву будинків, серйозно розпочинається в середині листопада. У зимові місяці це становить «нагальну глобальну проблему», а далі, із середини березня, про неї, як

правило, забувають. Цей кругообіг у природі не є для суспільства несподіванкою, проте саме у холодні місяці року неналежна енергоефективність будівельних конструкцій дає чіткі сигнали про те, що займатися вирішенням даної проблеми потрібно, ще й необхідно.

Тепловізійні дослідження параметрів теплоізоляції будівельних конструкцій проводять тому, що аналогічних результатів термометрами, барометрами чи іншими вимірювальними приладами досягнути складніше. Методи використання інфрачервоної термографії при оцінці втрат тепла в будівлях стають доступними, популярними, коли вирішуються питання зменшення витрат енергоресурсів, визначення енергоефективності та підвищення теплового балансу будинків. Оптимальним є здійснення тепловізійного дослідження теплоізоляційних шарів як усередині, так і ззовні будинку.

Треба пам'ятати, що вихідним результатом тепловізійного дослідження будівлі є розподіл температури по досліджуваній поверхні на термограмі. Інші дані, а саме величину втрат теплоти, отримуємо розрахунково-аналітичним методом, який передбачає побудову визначеного алгоритму.

**Актуальність теми.** Актуальність роботи визначається Законом України про енергозбереження від 01.07.1994 №74/94-ВР. Тепловізійні дослідження різних характеристик теплоізоляції огорожувальних конструкцій будівель проводяться набагато швидше за аналогічні дослідження іншими приладами і дають можливість комплексно оцінити величину теплової енергії. Це, у свою чергу, дає можливість встановити зв'язок між реально виконаними роботами будівельних організацій і проектом чи стандартом.

Тому дослідження, спрямовані на аналіз термограм, інших досліджень ізоляції будівельних конструкцій, дозволять підвищити експлуатаційну надійність житлових та виробничих огорожувальних конструкцій будівельних споруд.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* роботи є надання рекомендації щодо усунення втрат теплоти які б задовольняли усім конструктивним, техніко-експлуатаційним та економічним вимогам.

***Завдання дослідження:***

1. визначити до якого класу енергетичної ефективності відносяться житлові та виробничі будівельні конструкції;
2. розробити її енергетичний паспорт огорожувальних конструкцій за результатами поточного огляду на весь опалювальний період;

3. здійснити розрахунок теплотехнічних властивостей будівлі та перевірити їх на відповідність чинним будівельним та санітарним нормам;
4. перевірити якість роботи організацій із будівництва, вдосконалення, реконструкції чи ремонту будівлі;
5. виявити захід в приміщення холоду, місця руйнування чи відсутності теплоізоляційного шару, інфільтрації повітря, невідповідності конструктивного шару нормам, накопичення вологи тощо.

**Об'єкт дослідження** – огорожувальні конструкції споруд різного призначення та системи їх теплопостачання, теплоізоляції; методики проведення вимірювань тепловізором.

**Предмет дослідження** – закономірності функціонування систем опалення, теплоізоляції будівельних огорожувальних конструкцій, технічні характеристики та параметри їх роботи.

**Методи дослідження.** Аналіз роботи тепловізійних установок. Визначення теплоізоляційних характеристик твердих, рідких, сипучих та м'яких ізоляційних матеріалів, коефіцієнтів нерівномірності теплової ізоляції. Дослідження проводилися безпосередніми та непрямими методами. Дослідження теоретичних закономірностей, обробка експериментальних даних проводилися математично-статистичними методами, застосовувалися пакети програм «Microsoft Office», «MathCad», «Maple».

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Доповнено методику визначення теплового навантаження на опалення огорожувальних конструкцій будівельних споруд житлового і виробничого призначення.
2. Вдосконалено методику використання тепловізорів для визначення енергетичної ефективності теплової ізоляції.
3. Надано рекомендації по вдосконаленню теплоізоляції твердопаливного котла УТВ-2,5.

#### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Уточнено методику визначення термограм огорожувальних конструкцій будівельних споруд житлового та виробничого призначення.
2. Досліджено та проаналізовано основні параметри теплоізоляційних матеріалів і технології їх виробництва.
3. Розроблено рекомендації по утепленню корпусу промислового котла на базі підприємства «Тернопільтепло».

#### **Апробація результатів магістерської роботи.**

Основні положення роботи і її результати доповідалися на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 24-25 листопада 2021 р. (Тернопіль 2021 р.)

### **Публікації.**

За результатами виконаних досліджень опубліковано тези доповіді «Підвищення енергоефективності теплової ізоляції водогрійних твердопаливних котлів». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей X міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листопада 2021.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2021. – с. 24.

### **Структура роботи.**

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (23 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: 69 сторінок, 3 таблиці, 18 рисунків.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Актуальність та історичний контекст утеплення будинків

Використання теплоізоляційних матеріалів робить більш комфортнішим перебування в житлових, виробничих, комунальних та комерційних спорудах. Основною і найважливішою метою утеплення будівельних конструкцій є зменшення енергоспоживання при опаленні будівлі. Традиційні системи утеплення на основі мінеральної вати, пінопласту, скловолокна, є доволі популярними, хоча й практично на даному етапі вичерпали свої можливості. Більш перспективними є використання рідинних утеплювачів у різноманітних галузях промисловості та будівництва.

Для переважної більшості регіонів нашої держави морозні зими не є суворою кліматичною нормою. Проте існує доволі висока потреба в сучасних, ефективних та у той же час екологічно чистих теплоізоляційних матеріалах в будівельній галузі.

Раціональне енергоспоживання щороку стає все більш актуальним. Ці питання широко обговорюються у суспільстві. Через прискорене зростання цін на енергоносії проблеми енергоефективності як у житлових, так і у промислових об'єктах стають чи не головним питанням для мешканців нашої держави. Першим кроком на шляху розв'язання цієї проблеми є ефективна теплоізоляція. Нове покоління систем теплової ізоляції дійсно покликане звести до мінімуму можливу шкоду для навколишнього середовища та здоров'я людини. Крім того, сучасні технології теплоізоляції та теплоізоляційні матеріали дозволяють значно знизити тепловтрати, а, відповідно, істотно зменшити витрати палива, а це, у свою чергу, приведе до помітного скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Впровадження новітніх технологій і виробництво сучасних теплоізоляційних матеріалів значно заощаджує кошти на обігрів (кондиціонування) будівель і споруд різноманітного призначення.

Технологія застосування теплоізоляційних виробів швидко розвиваються. На сьогодні її використання вже дозволяє скоротити час, необхідний для виконання робіт. Збільшення терміну служби нових

теплоізоляційних матеріалів мінімізує витрати на поліпшення утеплення та знижує витрати на ремонтні роботи.

За наявними даними, у більшості будинків, які проектувалися 40-50 років тому, втрати тепла становлять у середньому близько 40%. Намагаючись зберегти тепло в житлових та виробничих приміщеннях, люди збільшують його споживання за рахунок різних типів опалювальних приладів. У результаті економічні витрати також зростають. На фактичне опалення на момент виконання магістерської роботи витрачається в середньому біля 60% всього енергоспоживання. Проте підігріте повітря поступово, але й неухильно витікає через різні будівельні конструкції (стіни, підлогу, дах, вікна, двері), (рис.1) у навколишнє середовище. Як максимально уникнути таких втрат, зменшити витік тепла з будинків – це сфера досліджень нових технологій утеплення.



Рис. 1. Втрати тепла будинку у відсотковому співвідношенні

Є загально відомим, що головний показник утеплювача – це його теплопровідність. Даний показник змінюється для різних матеріалів. Конкретні характеристики подаються у довідниковій літературі, їх можна знайти на сайтах виробників. А у побуті загальноприйнятий варіант утеплення зазвичай порівнюють з цегляною стіною. Найбільш розповсюджене порівняння, що лише 5-сантиметровий шар пінополістиролу цілком еквівалентний товщині цегляної

кладки шириною 80 см. Характеристики інших загально розповсюджених утеплювачів можуть мати певні відхилення від вищезгаданого прикладу.

За статистикою, потреби нашої держави в ефективному утепленні тільки в житловому секторі становлять на теперішній час близько 8 млн. куб. м. Цілком реально, якщо не миттєво, але в недалекому майбутньому задовольнити цю потребу в основному за рахунок вітчизняних матеріалів.

Одним з провідних способів підвищення енергоефективності є використання теплоізоляційних матеріалів наступного покоління. Сьогодні світовий ринок ізоляції оцінюється експертами в 30 млрд. американських доларів, і цей показник стрімко зростає. На думку фахівців, даний показник можна буде збільшити удвічі буквально у найближчі 10 років, адже використання утеплювача в будівництві незабаром стане практично обов'язковим.

Що стосується нашої держави, то на теперішній час на неї припадає незначний відсоток світового споживання різних видів ізоляції, серед яких основну частку займають такі матеріали як вата, скловолокно та пінопласт.

Справедливо визнати, що поки що в цьому напрямку український виробник робить тільки перші незначні кроки. Проте є надія, що розвиток технологій буде запорукою майбутніх реальних досягнень у сфері використання теплоізоляції. Так чи інакше, українські та західні експерти роблять доволі хороші прогнози розвитку найближчим часом основних сегментів внутрішнього ринку теплоізоляційних матеріалів.

Метод виробництва екстрагованого пінополістиролу через низку труднощів реалізації почав розвиватися на пострадянському просторі лише нещодавно. Завдяки своїм унікальним властивостям спінені пластмаси мають високий попит у будівництві як ефективні теплоізоляційні матеріали.

Проведені дослідження, якими доведено, що тенденція останніх років полягає в збільшенні частки легких матеріалів теплоізоляції приміщень (у першу чергу це стосується скловолокна та пінополістиролу), у загальному обсязі будівельна ізоляція залишається в середньостроковій перспективі.

Українські фахівці стверджують, що в даний час на загальнодержавному ринку пінопласту, виробленого з метою теплоізоляції, велика частка належить до безпресових видів пінополістиролу. Тут, в якості відступу, варто відзначити, що

виробництво безпресового пінополістиролу (ППС) було освоєно промисловістю ще радянського союзу в 1958 році, через три роки були запуснені виробничі лінії з виробництва самогасіння пінопласту. Що стосується екстрагованого способу (а він дозволяє отримувати набагато кращу продукцію), то через різні труднощі впровадження ця технологія почала свою розробку на пострадянському просторі тільки в останні роки. Основними постачальниками екстрадованого ППС на внутрішній ринок є завод Penoplex, а також Dow Kemikel, BASF (Styrodur) та інші. Фірма ISOVER, яка має великий виробничий комплекс в Україні, зараз є одним із світових лідерів у виробництві незаймистої ізоляції з кам'яної вати.

Крім провідних європейських виробників і постачальників на наш внутрішній ринок, наприклад, таких великих компаній, як Stroyplastass, що спеціалізується на виробництві пінопласту; Knauf, яка виробляє не тільки мінеральну вату під однойменною маркою, але і сухі будівельні суміші, штукатурні машини, тепло- і енергозберігаючі теплоізоляційні матеріали, у нас також присутні й багато дрібних виробників, таких як поблизу Черкас «HIRSCH Porozell», яка налагодила виробництво графітового пінопласту за австрійською технологією. На сьогоднішній час у країні працюють кілька десятків виробників теплоізоляційних матеріалів. Внутрішній ринок ізоляції вважається помірно сконцентрованим.

При цьому більшу частину продажів становить продукція іноземних компаній, що доволі успішно розвивають власне виробництво в Україні. Найбільші постачальники внутрішнього ринку, такі як виробник ursa-Eurasia minvat, який входить до складу іспанського концерну Uralita Group і займає близько 20% ринку в реальному вираженні, помітно виділяються на загальному фоні. Це компанія з виробництва кам'яної (базальтної) вати марки Rockwool, яка є українським підрозділом данського концерну Rockwool, світового виробника продукції на основі мінеральної вати. Компанія теплоізоляційних матеріалів «Saint-Gobain Construction Products», що представляє в Україні однойменний французький концерн Saint-Gobain.

Питання утеплення наших будинків – один з важливих пріоритетів нашого життя. Досконале утеплення дає реальну можливість істотно знизити вартість опалення. Народна примовка каже «Тепло там – де утепляють!»



## 1.2 Огляд теплоізоляційних матеріалів і технології їх виробництва

Теплоізоляційні матеріали поділяють на органічні та неорганічні.

До органічних відносять торф, дерев'яне волокно, шерсть. Дані матеріали можна використовувати для утеплення лише зсередини та при незначній вологості у приміщенні, так як вони мають схильність до гниття.

Іноді до природних видів теплоізоляційних матеріалів відносять пінопласт, пінополістирол, пінополіетилен. Ці речовини не бояться підвищеної вологості, проте не мають достатньої вогнестійкості.

До неорганічних відносяться скловолокно, мінеральна ізоляція, пінопластове скло, сітки бетону, базальтові волокна. Найчастіше використовуються мінеральна вата та мінеральні пластини. Матеріал володіє пожежостійкістю та має високу паростійкість. При проектуванні утеплення приміщення з підвищеною вологістю варто використовувати неорганічні матеріали з гідрофобними добавками.

До змішаного типу теплоізоляційних матеріалів відносять вермикуліт, азбест, перліт та інші матеріали з кам'яних порід. Така теплоізоляція доволі дорога, тому використовується рідше, у порівнянні з першими двома типами.

Сучасний ринок насичений різноманітними матеріалами для утеплення будинків, вони відрізняються як за якістю, так і за іншими своїми характеристиками, наприклад, питомою вагою, термостійкістю, ціною. Тому є можливість конкретний матеріал підбирати не тільки за його якісними характеристиками, але й у залежності від питань екології й ергономіки.

Коротко зупинюся на основних параметрах, за якими оцінюють або підбирають теплоізоляційні матеріали. Основними характеристиками теплоізоляційних матеріалів є теплопровідність, пористість, щільність, паростійкість, вологість, біостійкість, вогнестійкість, температуростійкість спеціальна ємність. Підбираючи оптимальний теплоізоляційний матеріал, варто уважно ознайомитися з його характеристиками та порівняти їх з аналогами.

Коефіцієнт теплопровідності дорівнює кількості тепла, яке буде проходити через 1м матеріалу площею 1м<sup>2</sup> при різниці температур всередині і зовні будівлі 10 градусів за Цельсієм. Показник залежить від рівня вологості

матеріалу, так як вода проводить тепло краще, ніж повітря. Іншими словами, вологий і навіть сирий матеріал не буде виконувати свою основну функцію утеплювача. Крім того, теплопровідність залежить від структури, пористості, хімічного складу матеріалу і його температури.

Пористість – це відношення частки пор до загального об'єму теплоізоляційного матеріалу. Бувають пори різні за розмірами, закриті та відкриті. Їх тип та розподіл у матеріалі має важливе значення.

Щільність або густина вимірюється в  $\text{кг/м}^3$ , вказує на співвідношення маси матеріалу до об'єму, який він займає. Для теплоізоляції трубопроводів, що знаходяться в міжстіновому просторі каркасного будинку використовують спеціальні «рукави» з утеплювача підвищеної щільності.

Паропроникність визначає кількість пари, що проходить через  $1\text{м}^2$  матеріалу товщиною 1м за 1 годину. Водяну пару вимірюють в мг, а температуру повітря з різних сторін матеріалу приймають однаковою.

Вологість визначає кількість вологи в матеріалі. Ще однією важливою характеристикою є вологість сорбації. Це відношення рівноважної гігроскопічної вологості при різних температурах до відносній вологості.

Водопоглинання – це кількість води, яку може вбирати матеріал і тримати в порах при безпосередньому контакті з вологою. Для покращення цього показника деякі матеріали (наприклад, мінеральну вату) просочують спеціальними речовинами, які відштовхують вологу. Такий процес називають гідрофобізацією.

Ще одна характеристика – біостійкість. Мікроорганізми розмножуються там, де підвищена вологість. Матеріал з підвищеною біостійкістю здатний витримувати вплив грибків, мікроорганізмів і деяких комах.

Коли розглядають вогнестійкість, користуються показниками пожежної безпеки: димоутворююча здатність, займистість, горючість і токсичність продуктів горіння. Чим довше матеріал витримує вплив високих температур, тим вища його протипожежність.

Така характеристика як міцність допомагає з'ясувати, чи матиме матеріал значний вплив при його транспортуванні, зберіганні та монтажі. Обмеження по міцності лежать в межах від 0,2 до 2,5 МПа.

Температуростійкість характеризує, чи матеріал стійкий до змін температури. Показник відображає температуру, після перевищення якої матеріал змінює свої властивості, структуру та міцність.

Теплоємність (спеціальна) розраховується в кДж поділених на кг та градус та показує кількість теплоти, яка накопичується ізоляційним шаром.

Морозостійкість характеризує здатність матеріалу витримувати перепади температур, замерзати та нагріватися, не змінюючи основних властивостей.

Проведу коротку порівняльну характеристику між базальтовими пластинами та піносклом, як теплоізоляційними матеріалами.

Базальтові мінеральні плити на сьогоднішній день займають одне з провідних місць за споживчим попитом. Їх основна сфера використання – це ізоляція й утеплення. Без даного матеріалу будівництво житлових будинків і споруд та промислових об'єктів практично не відбувається. З використанням базальтових плит і вати утепляються трубопроводи, сантехнічне та опалювальне обладнання. Цим же матеріалом утепляються поверхні всередині і зовні приміщень, а саме дахи, підлоги, стіни, горища, підвали тощо. Хороші теплоізоляційні характеристики базальтових плит визначаються низькою теплопровідністю повітря. Багатогранність та хаотична орієнтованість волокнистої структури повністю виключає вільний рух теплих повітряних мас всередині матеріалу. Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційної базальтової плити в сухому стані становить 0,04-0,047 Вт/(м·°C).

До переваг базальтових плит можна віднести:

- практично безінерційний і достатньо високий рівень міцності;
- велика вогнестійкість (плити витримують збільшення температури до 1000°C);
- стійкість до деформації та довговічність.

Базальтові плити можна використовувати для утеплення фасадів, панелей, фундаментів і дахів багатопверхових будівель.

Теплоізоляція піносклом, як будівельним матеріалом, що має низьку теплопровідність, призначена для утеплення будівельних конструкцій житлових, виробничих та сільськогосподарських будівель, поверхонь виробничого обладнання й агрегатів (промислові печі, турбіни, трубопроводи, холодильні

камери та подібне). Проте його почали використовувати як теплоізоляційний набагато пізніше ніж базальтові плити. Піноскло може виготовлятися у двох основних формах, а саме як гранули та блоки або пластини. Технологія виробництва піноскла різного виду дещо відрізняється. Але в усіх випадках основною сировиною є готове скло у вигляді склобою пляшок, вікон і довільних інших видів скляної продукції. Тому, крім виробництва теплоізолятора, також проходить процес утилізації частини твердих побутових відходів. Загальновідомо, що скло практично не розкладається з плином часу, і тому накопичується в навколишньому довкіллі.

При порівнянні склопіни з деревом, виявляється, що вона вдвічі гірше захищає від холоду. А мінеральна вата в цьому відношенні на 20-30% має гірші показники. Цей рівень теплопровідності пояснюється тим, що у структурі утеплювача знаходиться велика кількість суцільних компонентів, які розділені тонкими перегородками. Пористість піноскла доволі висока, до 95%, а теплопровідність становить 0,04 Вт/(м·°C).

Основні переваги піноскла:

- водонепроникність, міцність і простота обробки;
- морозостійкість і негорючість;
- довгий термін використання;
- хімічна неактивність і біологічна стійкість;
- доволі висока вартість і тому, в основному, використовується на промислових об'єктах;
- не пропускає повітря.

Цей матеріал має невелику середню густину (не більше 600 кг/м<sup>3</sup>), що досягається за рахунок збільшення пористості.

За основними параметрами теплопровідності такі теплоізоляційні матеріали діляться на три наступні класи: А – з малою теплопровідністю, В – з середньою теплопровідністю, С – такі, що мають підвищену теплопровідність. Матеріали відрізняються своєю теплопровідністю, а саме: при середній температурі 25°C, матеріали класу А мають теплопровідність до 0,06 Вт/(м·К), клас В – від 0,06 до 0,115 Вт/(м·К), клас С – від 0,115 до 0,175 Вт/(м·К). При

інших середніх температурах теплопровідність матеріалу зростає відповідно до наступної закономірності:

$$\lambda_t = \lambda_0 / (1 + \beta_t),$$

де  $\lambda_t$  – теплопровідність при температурі  $t$  в градусах Цельсія;  $\lambda_0$  – теплопровідність при нульовій температурі;  $\beta_t$  – температурний фактор, що виражає теплопровідність матеріалу при підвищенні його температури на  $1^\circ\text{C}$  і рівний  $0,0025 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  (до  $100^\circ\text{C}$  за довідниковими даними О.Є. Власова).

Теплопередача пор складається з теплопровідності газу в порах, конвективної теплопередачі та теплової емісії газу. Теплопровідність повітря при звичайному атмосферному тиску перебуває на рівні близько  $0,025 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  при температурі  $25^\circ\text{C}$ , при температурі  $100^\circ\text{C}$  –  $0,031$  і при  $1000$  градусах Цельсія –  $0,079 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Азот, кисень і водень мають однакові приблизно значення теплопровідності  $0,20 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Такі значення теплопровідності враховувалися при роботі теплоізоляційного матеріалу у відповідному газовому середовищі.

Другим компонентом загальної теплопередачі пор є конвекція. У порах розміром менше  $5 \text{ мм}$  вона практично не існує і тому не враховується. Але з більшими за розмірами порами конвекція стає більшою.

Третій компонент теплопередачі – теплове випромінювання. Він залежить від чорноти стін пор, форми та розміру пор, температури.

Тверда фаза має велику теплопровідність і тому, коли вона знаходиться в структурі безперервно, тоді теплопровідність матеріалу в  $2-2,5$  рази вища, ніж при пористій структурі. У волокнистих теплоізоляційних матеріалах безперервними в конструкції є як тверді фази, так і пори, тому їх теплопровідність дуже сильно залежить від кількості пустот, які припадають на відповідну товщину шару таких матеріалів.

Із тари або битого скла готується тонкомелена шихта з питомою поверхнею  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ , у ній міститься скло  $92-96\%$ . В основному використовується вторинна сировина, що знижує вартість готової продукції.



а)  
б).  
Рис. 2 Натуральна сировина: а) крейда, б) мармур.

Мінеральна активна речовина (3-5%) розподіляється по поверхні, що дозволяє отримувати теплоізоляційний матеріал з закритими газовими елементами, і газоутворювальною крейдою або мармуром 1-3% (рис. 2).

Сировиною для виробництва піноскла є скло, мінеральний PAV, крейда або мармур (рис.2).

Збільшення кількості поверхневої активної речовини в обшивці більш ніж на 5% призводить до підвищення температури спінювання на 12-15°C на кожен доданий відсоток, а зменшення її кількості з 3,0 до 0,0% призводить до різкого збільшення об'ємного водонасичення з 3 до 30-40%.

### **1.3. Ключові процеси та обладнання для виготовлення теплоізоляційних матеріалів**

Скляні гранули та скlobій, подрібнені при допомозі барабанно-кульових млинів (рис. 3), змішаних з газоутворювачем (кам'яним вугіллям) у вигляді порошку розподіленого тонким шаром, завантажують у форми фрезерної сталі з каоліновим мазком. Форми на візках і на роликівих конвеєрних лініях подаються в тунельну піч. Під дією високої температури частинки скляного порошку розм'якшуються та відбувається його спечення. Гази, що виділяється при згорянні і розкладанні газового інжектора, відшаровуються в'язкою скляною масою. При охолодженні утворюється матеріал із структурою сітки. Повільне охолодження (витримка) сприяє виготовленню виробів різних за об'ємом та розмірами, на поверхнях та по об'єму в них не появляються внутрішні напруження та тріщини.

Охолоджені вироби розрізають, обробляють на обпилювальному обладнанні й упаковують.

В результаті таких етапів виробництва отримують блоки з піноскла. Його хімічний склад на 100% ідентичний хімічному складу класичного скла і включає в себе кремній, кальцій, натрій, магній, оксиди алюмінію. Газове середовище повністю закритих скляних елементів не взаємодіє з атмосферою і в основному є чадним газом і його сполуками. Тиск газового середовища в готовому блоці набагато нижче атмосферного тиску, тому що процес спінювання обумовлений викидом газів із коксу, антрациту та попелом при температурі близько 1000°C.

Готовий виріб, за конструкцією він може мати саму різноманітну форму, у якому стінки та вузли зерен складаються з такого міцного матеріалу, як скло, обумовлюють унікальну міцність і здатність витримувати механічні навантаження. Матриця вузлів і з'єднань п'ятиступеневої конструкції є найбільш оптимальною просторово-об'ємною конфігурацією, котра здатна витримувати максимальні навантаження при мінімальній густині. Основні параметри зерен піноскла характеризуються наступними показниками: при середньому діаметрі 2000 мкм товщина стінок зерен коливається від 20 до 100 мкм.



Рис.3. Сема виробництва піноскла.

1) Барабанно-кульовий млин; 2) міксер; 3) тунельна піч.

#### 1.4 Основні властивості піноскла як теплоізоляційного матеріалу

Піноскло – це легкий пористий матеріал. Його структура схожа на суцільну мильну піну. Розмір пористих елементів можуть бути від долі міліметра до сантиметра. Колір матеріалу може змінюватися від світло-кремового до чорного (зазвичай зеленувато-сірий), але в залежності від складу скла і домішок може набути практично довільного кольору (рис. 4).

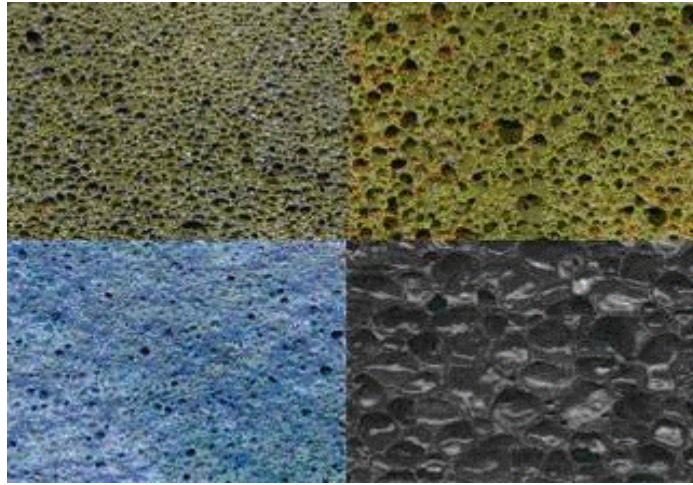


Рис. 4 Зріз пофарбованого піноскла.

Відповідно до стандартів (протоколу №17 т/ф від 16.08.2005 р. випробування пожежною лабораторією) піноскло не горить, не підтримує горіння та належить до групи негорючих матеріалів (НГ). Обмеження по пожежогасінню при втраті теплоізоляції при товщині 40, 80 і 100 мм становить 30, 45 і 60 хвилин відповідно. Таким чином, цей матеріал дозволяє значно підвищити пожежну безпеку будівель і споруд, побудованих з його нанесенням, а в разі пожежі запобігти її поширенню, що значно зменшує можливі втрати від пожежі.

Піноскло є матеріалом з варіативним діапазоном густини від 100 до 600 кг/м<sup>3</sup>, що складається з великої кількості скляних зерен, механічне руйнування навіть якоїсь частини не призводить до втрати його несучості. Даний матеріал може використовуватися одночасно як для гідро- так і для теплоізоляції (покрівля, паркінг, пандуси і т.д.), також можливе створення несучих конструкцій найрізноманітнішого призначення. Паропроникне піноскло дозволяє створювати огороження конструкцій, які забезпечують комфортний мікроклімат у приміщенні. Паропроникне піноскло забезпечує паро- і гідроізоляцію довільних поверхонь.

З іншого боку піноскло є таким матеріалом, який завдяки своїй структурі сітки та властивостям скла є жорстким і безурадним матеріалом. Межа міцності на стиснення залежить від густини матеріалу та змінюється від 5 до 75 кг/см<sup>2</sup>. При цьому піноскло легко обробляється, що дозволяє створювати вироби довільної форми. Згідно із протоколами досліджень (№1/14-I від 02.03.2000 р.) його коефіцієнт водонепроникності становить 0,95, який рівний відповідним характеристикам для граніту.



Про піноскло можна говорити як про скляну піну. Через це його хімічна стійкість відповідає по довговічності склу, тобто дана речовина буде інертною у всіх середовищах, крім, звичайно, концентрованих розчинів лужної та плавикової кислот. Хімічна довговічність цього матеріалу, поряд з його жорсткістю, негорючістю, робить його незамінним для використання в якості утеплювача в агресивних середовищах.

Піноскло – зернистий неорганічний матеріал. Він екологічно чистий як звичайне скло. Екологічна чистота піноскла дозволяє широко використовувати його в харчовій і фармацевтичній промисловості. Крім того, виробництво саме цього матеріалу має екологічну вигоду, так як дозволяє використовувати для його виробництва довільні скляні вироби та відходи. Також використання піноскла дозволить відмовитися від екологічно небезпечних теплоізоляційних матеріалів, таких як азбестовмісний, або екологічно шкідливий і схильний до пожеж пінопласт чи подібного.

Піноскло ще й екологічно чиста скляна піна, яка не містить органічних сполук. Саме тому даний матеріал не може бути їстівним для гризунів і комах. Таким чином, він може бути досить ефективним при будівництві складів, закладів зберігання продуктів харчування, котеджів, утепленні холодильних камер, котлів котелень, аналогів.

## **1.5 Висновки до розділу**

При будівництві теплоізоляція може зменшити товщину огорожувальних конструкцій (стін, дахів), зменшити витрату основних матеріалів (цегли, бетону, дерева), полегшити конструкції та знизити їх вартість, знизити витрату енергоресурсів під час опалювального періоду. У технологічному та енергетичному обладнанні теплоізоляція зменшує тепловтрати, забезпечує необхідний температурний режим, зменшує питому витрату палива на одиницю готової продукції, покращує умови праці. Для того, щоб мати достатній ефект від використання теплоізоляції, в інженерних проектах виконують відповідні теплові розрахунки, підбирають конкретні види теплоізоляційних матеріалів і враховують їх теплові характеристики. Ці заходи дають можливість успішного вирішення проблеми економії пального та енергоресурсів.

## 2 НАУКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір матеріалу теплоізолятора за його характеристиками

Коефіцієнт теплопровідності піноскла залежить від об'ємної густини, але в цілому лежить в діапазоні 0,045-0,16 Вт/(м·К). Проте зменшення щільності виробу знижує його міцність. Виходячи з таблиці 1, продукт 250 має обмеження міцності 2,0 МПа (кг/см<sup>3</sup>), а при згині 0,4 МПа (кг/см<sup>3</sup>).

Таблиця 1.

Основні параметри насипного піноскла у порівнянні з гравієм, щебенем.

Марка за об'ємною щільністю	Об'ємна середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), не більше	Будматеріали за силою	
			Гравій	Щебень
150	100-150	0,045	П25	П15
200	151-200	0,053	П35	П25
250	201-250	0,062	П50	П35
300	251-300	0,073	П75	П50
350	301-350	0,085	П100	П75
400	351-400	0,097	П125	П100
450	401-450	0,11	П150	П125
500	451-500	0,13	П200	П150
600	501-600	0,16	П200	П150

По мірі збільшення густини виробу коефіцієнт теплопровідності збільшується з 0,045 до 0,16 і теплоізолятор стає більш міцним.

Таблиця 2.

Основні характеристики теплоізоляційно-будівельного піноскла

Щільність кг/м <sup>3</sup>	Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	Межа міцності під час стискання, МПа(кг/см <sup>2</sup> ), не менше	<i>Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), не більше при вигині</i>	Шумопоглина ня, %
250	251-300	2,0 (20)	0,4 (4)	0,073
350	351-400	3,2 (32)	0,7 (7)	0,093
400	401-500	4,5 (45)	-	0,100
500	501-600	6,0 (60)	-	0,120
600	601-700	7,5 (75)	-	0,140

Для менш жорстких виробничих процесів можливо використовувати ековату та корковий утеплювач. Склад целюлозної вати (ековати) неоднорідний. Найбільше у її складі дерев'яного волокна – 80%, менше антипірину (борна кислота) – 12%, ще менше антисептику (тетраборат натрію) – 7%. Матеріал має дрібнозернисту структуру. Можливий мокрий і сухий спосіб укладання. Вологий спосіб вимагає спеціального обладнання, так як вата гігроскопічна. Сухий спосіб, звичайно, більш простий, утеплювач заповнюється у відповідні об'єми та спресовується до необхідної густини.

Основними складниками при виробництві ековати є непотрібні матеріали паперової та картонної промисловості, що включають у себе:

- залишки при виготовленні гофрованого картону;
- дефектні вироби, що виявляються при публікації друкованих видань;
- більшість відходів і дефектних виробів при виробництві сирової картонної продукції.
- відходи газетного або паперового типу, які мають погану якість сировини та обумовлені підвищеною сприйнятливістю до забруднення, а також наявність неоднорідного та бракованого матеріалу.

Останнім часом ековата широко використовується при будівництві найрізноманітніших конструкцій – для утеплення житлових приміщень, складів, торгових приміщень і нежитлових громадських будівель. Найбільш оптимальним є використання даного теплоізоляційного матеріалу в приміщеннях з підвищеною вологістю, де часто може осідати конденсат. Теплопровідність ековат становить 0,036-0,042 Вт/(м·°С).

Целюлозна вата має ряд своїх переваг:

- мала собівартість і безпека виробництва та монтажу;
- однорідне укладання та достатньо висока теплоізоляція;
- утеплення зазорів і заглиблень, трубопроводів водообміну без зниження теплоізоляційних властивостей.

Звичайно у даного матеріалу є певні недоліки, до яких відносяться:

- горючість;
- трудомісткість при укладанні;

- низька міцність на стиск, що унеможлиблює використання її для, так званих, «плаваючих» підлог.

Корковий утеплювач відносять до екологічно чистих матеріалів. Він має велику популярність у багатьох країнах світу, його виробляють як теплоізолятор для оздоблювальних матеріалів. Також корковий утеплювач використовують для теплозахисту конструкцій дахів, горищ, фасадів. З плином часу він не втрачає своїх характеристик. На протязі доволі довгого часу людство використовує коркові матеріали в якості утеплювача. Вони мають відмінні теплоізоляційні характеристики. Перш за все, це пов'язано з індивідуальними особливостями внутрішньої структури коркового матеріалу, і не є результатом його обробки.

Ще один розповсюджений теплоізоляційний матеріал фольгоізолон. Він являє собою пінополіетилен, покритий металізованою полірованою фольгою. Останнє покриття визначає унікальні характеристики фольгоізолону, а саме, утримання інфрачервоного випромінювання. У загальному складі втрат ІЧ-випромінювання становлять майже половину теплової енергії. При використанні електричних обігрівачів цей показник може сягати 75%.

До переваг фольгоізолону можна віднести наступні:

- повна екологічна та гігієнічна безпека;
- низька теплопровідність 0,034 Вт/мК, незначний один шар матеріалу товщиною 4 мм може замінити 6-и сантиметровий шар скловати;
- матеріал вологонепроникний;
- фольгоізолон не має схильності до гниття, на його поверхні не можуть розмножуватися вологолюбні бактерії чи грибок;
- теплоізолятор витримує широкий інтервал зміни температури від -60 до +100°C;
- утеплювач відмінно протидіє агресивним рідинам, наприклад, моторному маслу чи бензину.

Завдяки універсальності фольгоізолон можна застосовувати при утепленні не тільки стін і стель, а й підлоги. Монтаж покриття надзвичайно простий і не вимагає володіння спеціальними навичками. Достатньо мати степлер, дрібні цвяхи та металізовану клейку стрічку для обробки стиків.

Холофайбер – це нетканий теплоізолятор нового покоління, який забезпечує комфортне проживання в приміщенні протягом року в довільній кліматичній зоні. Холофайбер не потребує обслуговування та додаткових витрат на ремонтно-відновлювальні роботи під час всього періоду експлуатації. Його

унікальні властивості забезпечують тепловий опір перекриття, що відповідає вимогам та нормам для житлових приміщень.

До переваг холофайбера можна віднести:

- не вбирає сторонні запахи та не має власного;
- зовні утеплювач схожий на синтепон, матеріал на 100% складається з поліестеру, у своєму складі теплоізолятор не має токсичних чи елементів, можуть викликати алергію. Холофайбер легко приймає довільну форму та відновлюється навіть після прання. У 2010 році його було визнано найкращим утеплювачем у світі.
- монтаж термоізолюючого шару не викликає труднощів і зводиться до обтягування дерев'яного каркасу покриттям. Утеплювач прив'язується стрічками або кріпиться металевими скобами до несучої конструкції. Стики найчастіше герметизуються звичайним скетчем.

На ринку сучасних теплоізоляторів важлива роль належить пінополіуретану (ППУ) та пінополістеролу (ППС). Ці утеплювачі дуже подібні за певними характеристиками матеріали, між якими доволі складно зробити економічно та технічно обґрунтований вибір.



Рис.5. Пінополіуретан

Таблиця 3.  
Порівняльні характеристики ППС і ППУ.

Матеріал	Щільність (кг/м <sup>3</sup> )	Коефіцієнт теплопровідності Вт/м·К	Робоча температура (°С)	Термін служби (років)	Пористість
ППУ	25 - 750	0.019 – 0.028	-160...+150	50	Закриті
ППС	40 - 150	0.04 – 0.06	-100...+80	15	Закриті

Зрозуміло, що основною характеристикою визначення якості утеплювача є теплопровідність. При порівнянні ППС чи пінопласт і ППУ (рис.5) у цьому аспекті, то другий буде більш ефективним, так як коефіцієнт теплопровідності жорстких ППУ становить 0,019 – 0,028 Вт/м·К, а ППС – 0,04 - 0,06 Вт/м·К. У таблиці 3 наведено порівняльні характеристики цих утеплювачів.

Як видно з таблиці 3, у ППУ більш широкий температурний інтервал використання, а також більш тривалий термін експлуатації. Звичайно, що це не

всі характеристики, за якими порівнюють пінополіуретан і пінополістерол.

Важливими параметри можуть бути ще й наступні:

- водонепроникність: ППС поглинає приблизно вдвічі більше вологи, ніж ППУ;
- шумоізоляція: завдяки безшовному нанесенню та 100% адгезії ППУ краще поглинає зовнішній шум, ніж це роблять панелі ППС;
- Екологія: у зв'язку з широким температурним інтервалом, дозволеним при використанні цих теплоізоляторів, вони обидва цілковито безпечні при експлуатації. Проте безпека ППУ безпосередньо залежить від правильного застосування, а ППС починає виділяти фенол при нагріванні вище  $+60^{\circ}\text{C}$ . Правильність вибору між цими матеріалами в даному випадку залежатиме від вимог до експлуатації.

На практиці ППУ і ППС піддаються термічній обробці. Пінопласт повністю згорає, виділяючи при горінні багато токсинів, а ППУ вдається уціліти, хоча й суттєво помінявши зовнішній вигляд.



Рис.6. Пінополістирол

У той час, як ППС вразливий до вологи, а також практично до всіх органічних розчинників, ППУ псується під прямими сонячними променями. Тому може здатися, що ППУ не підходить для зовнішнього утеплення. Проте зовнішня ізоляція в будь-якому випадку робиться під облицювальним шаром огорожувальної конструкції, тому пласт ППУ захищений від шкідливого впливу сонця. За цими ознаками в порівнянні з пінопластом, ППУ більш ефективний і використовується як для внутрішньої, так і для зовнішньої теплоізоляції.

При порівнянні цих двох матеріалів також варто зазначити про межу міцності для стиснення – вона вища в ППС.

## 2.2 Розрахунок товщини шару рідкої теплоізоляції

Проведені дослідження можна віднести до стаціонарних методів визначення коефіцієнта теплопровідності рідких утеплюючих матеріалів. Розроблений метод можна буде використовувати в будівельній галузі та тепловій енергетиці для визначення теплопровідних характеристик надтонкого рідкого ізоляційного покриття на поверхнях площинних джерел тепла.

Мета, що ставилася перед виконанням розрахунку, – це спрощення методу та підвищення точності визначення коефіцієнта теплопровідності рідкого теплоізоляційного шару на поверхні плоского джерела тепла. Суть методу полягає в тому, що можливо розрахувати спрощеним методом потрібну товщину шару рідкого утеплювача при локальному застосуванні теплоізоляції на поверхні плоского джерела. По відомих значеннях температури поверхні плоского джерела тепла, температури поверхні ізолюваної площини та температури навколишнього середовища, товщина теплоізоляційного шару розраховуються з використанням спеціалізованих спрощених формул, в залежності від місця розташування до поверхні плоского джерела тепла та співвідношення теплопровідності рідкої теплоізоляції та безпосередньо площини, з якої поступає теплова енергія.

Вихідні умови для ефективного застосування теплоізоляційного матеріалу є наступні: на поверхні плоского джерела теплової енергії 1 потрібно розташувати шар 2 рідкої теплоізоляції товщиною  $\delta_{із}$  (рис. 7).

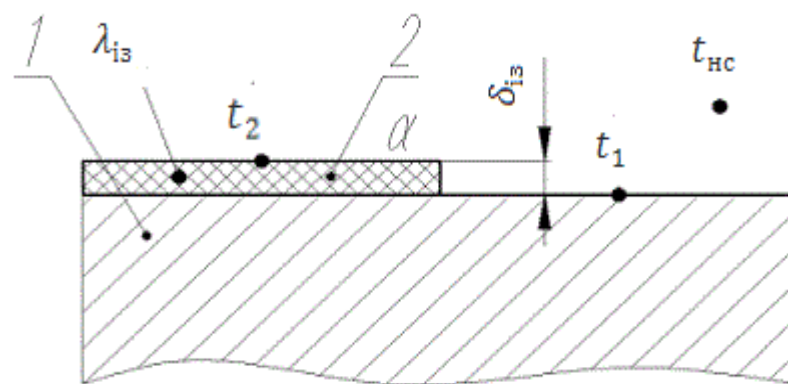


Рис. 7 – Принципова схема для реалізації способу визначення коефіцієнта теплопровідності рідкої теплоізоляції на поверхні плоского джерела тепла.

Варто дотримуватися наступного алгоритму для реалізації методу, який запропоновано: для стаціонарного теплового режиму проводять окремі виміри температури поверхні плоского джерела тепла 1, температури поверхні ізолюваної ділянки 2 та температури навколишнього середовища  $t_{нс}$ . Коефіцієнт теплопровідності шару рідкої теплоізоляції 2 у залежності від місця розташування на поверхні плоского джерела тепла 1 вираховується за специфічними формулами розрахунків:

- у вертикальному місці в просторі над поверхнею плоского джерела тепла 1:

$$\lambda_{із} = \alpha_1 \cdot \delta_{із} \frac{t_2 - t_{нс}}{t_1 - t_2}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, (2,1)$$

- при горизонтальному положенні в просторі плоского джерела тепла 1 з тепловою поверхнею, що випромінює вгору:

$$\lambda_{із} = \alpha_2 \cdot \delta_{із} \frac{t_2 - t_{нс}}{t_1 - t_2}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, (2,2)$$

- при горизонтальному положенні в просторі плоского джерела тепла 1 з тепловою поверхнею, що випромінює вниз:

$$\lambda_{із} = 0.5 \cdot \delta_{із} \frac{t_2 - t_{нс}}{t_1 - t_2}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, (2,3)$$



де  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  коефіцієнти теплового відбивання між поверхнею ізолюваної площі 2 та навколишнім середовищем відповідно, з вертикальним і горизонтальним розташуванням плоского джерела теплової енергії 1. Графіки наведено на рис. 8 та на рис. 9 відповідно.

$\delta_{із}$  – товщина шару рідкої теплоізоляції 2;

$t_1$  – температура поверхні плоского джерела тепла 1;

$t_2$  – температура поверхні ізолюваної ділянки 2;

$t_{nc}$  – температура навколишнього середовища.

До переваг запропонованого методу слід віднести: технічна простота теплових вимірювань і математично проста процедура розрахунку коефіцієнта теплопровідності рідкої теплоізоляції на поверхні площинного джерела теплової енергії, висока точність результатів розрахунку, яка досягається при допомозі використання формул, що отримуються з класичних рівнянь теплопровідності для плоскої стіни в стаціонарному тепловому режимі та конвективного теплообміну, а також графіків, отриманих теорією подібності теплових процесів.

Метод визначення коефіцієнта теплопровідності рідкої теплоізоляції на поверхні плоского джерела тепла, включаючи нагрівання і вимірювання температури поверхні плоского джерела тепла. Визначення коефіцієнта теплопровідності рідкого теплоізоляційного покриття відомої товщини, що відрізняється тим, що шар рідкої теплоізоляції наноситься на поверхню плоского джерела тепла локально, вимірюється температура поверхні теплоізоляційної зони і температури навколишнього середовища, співвідношення теплопровідності рідини.

Розгляну приклад конкретної реалізації описаного методу, а саме, визначимо коефіцієнт теплопровідності рідкої теплоізоляції при використанні теплоізоляційної фарби Броня 2, нанесеної  $\delta_{із} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  на половину поверхні електричної плитки 1, з товстим шаром рідкої теплоізоляції. Середня температура поверхні електричної плитки 1 і поверхні ізолюваної площі 2  $t_1 = 210.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 133.3 \text{ }^\circ\text{C}$  відповідно за вимірюваннями проведеними тепловізором DALI-700E. Температура навколишнього середовища за результатами вимірювань  $t_{nc} = 22,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Отже, коефіцієнт теплопровідності вертикально розташованого електричного плиткового пальника 1 рівний  $\alpha_2 = 8.1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  згідно з рис. 7.

Коефіцієнт теплопровідності рідкої теплоізоляції Броня 2 визначений по формулі 2.1 становить:

$$\lambda_{із} = 8.1 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{133,3 - 22,4}{210,9 - 133,3} = 0,023 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}). \quad (2.4.)$$

Відносна похибка вимірювальної системи дорівнює 7,8%.

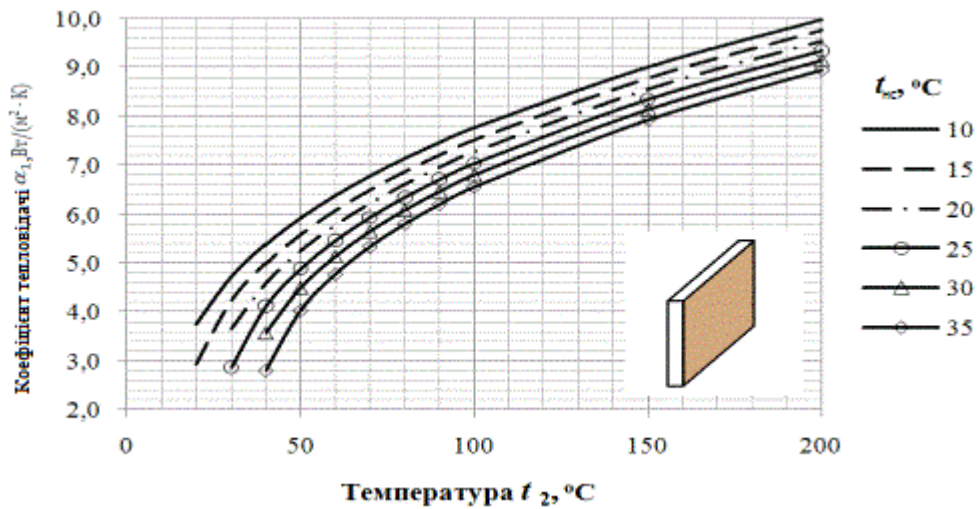


Рис. 8 – Зміни у співвідношенні теплової потужності плоского джерела, розташованого вертикально.

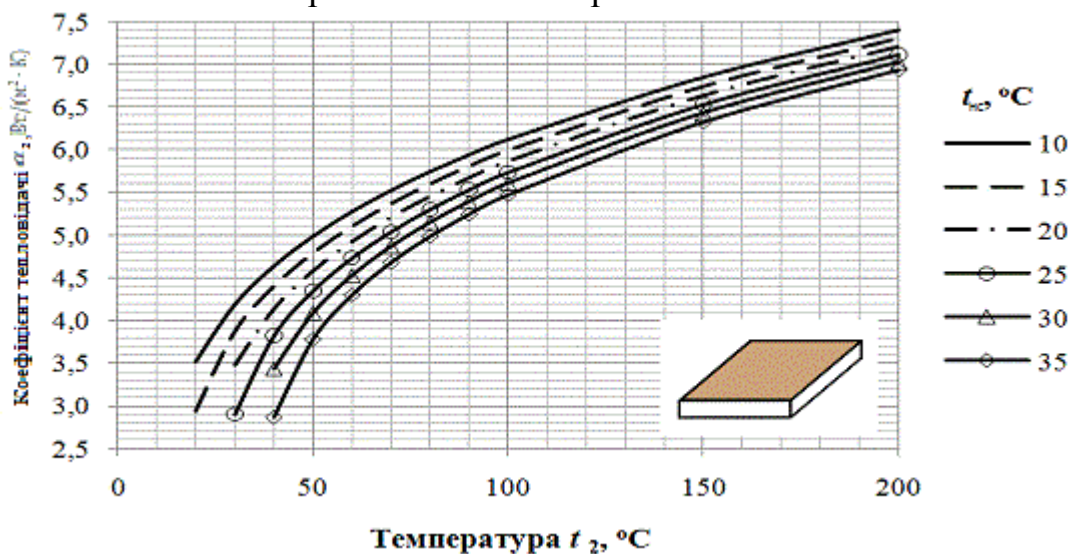


Рис. 9 – Зміни у співвідношенні теплової потужності плоского джерела, розташованого горизонтально

### 2.3 Визначення теплового навантаження на опалення

Одним з важливих параметрів термозахисту будівлі, по даних ДБН В.2.6-31:2016, є визначений опір теплопередачі окремих елементів її огорожувальних конструкцій. Реальна вартість теплової енергії, призначеної для опалення будівлі, котра також є одним із важливих показників термозахисту будівельної споруди, безпосередньо залежить від теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, тобто коефіцієнтів теплопередачі. Тому, при розрахунку доцільності енергозберігаючих заходів щодо підвищення термозахисту будівель і споруд фактор термостійкості є визначальним параметром. Як приклад для підтвердження розглянемо рівняння теплопередачі, на основі якого розраховуються теплові втрати будівлі і визначається теплове навантаження на опалення:

$$Q = \frac{1}{R} \Delta t F \quad (2.5)$$

де  $Q$  – тепловий потік (тепловтрати), розмірність Вт;  
 $R$  – тепловий опір теплопередачі, розмірність  $\text{м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$ ;

$\Delta t$  – різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям, град. С;  
 $F$  – площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>.

У проектних або вже практично виконаних об'єктно-планових рішеннях, а також для роботи у раціональних теплових режимах приміщень будівлі параметр термостійкості у формулі (2.5) виступає основним, так званим, «регулятором» витрат паливно енергетичних ресурсів для теплопостачання приміщень. Загальновідомо, що традиційним способом підвищення рівня термозахисту будівлі є утеплення її зовнішніх огорожувальних конструкцій, стін. При цьому показник енергоефективності з урахуванням виразу (2.5) можна розрахувати по формулі:

$$\eta = \left( \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2}{\Delta Q_1} \right) \cdot 100 = \frac{1}{\frac{\lambda_{із}}{\delta_{із}} R + 1} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

де  $\eta$  – показник енергоефективності, %;

$\Delta Q_1$  і  $\Delta Q_2$  – використання теплової енергії для обігріву будівлі, до і після утеплення зовнішніх стін будівлі відповідно, Дж;

$R$  – термостійкість до теплопередачі зовнішніх стін будівлі без утеплення, м<sup>2</sup>\*град/Вт;

$\lambda_{із}$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції, Вт/(м<sup>2</sup>\*К);

$\delta_{із}$  – товщина теплоізоляції, м.

Експлуатаційну термостійкість теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі у формулі (2.6) можна знайти з наступного співвідношення:

$$R = \frac{t_{вн} - t_{нс}}{q}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}, \quad (2.7)$$

де  $t_{вн}$ ,  $t_{нс}$  – відповідно температура повітря в приміщенні та на відкритому просторі, град.С;

$q$  - щільність теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>.

Рівняння (2.6) дозволяє оцінити у відносних одиницях зниження вартості опалення будівлі. Після цього при допомозі показника енергоефективності можна буде визначати щорічне зниження вартості теплової енергії для опалення будівлі чи економії палива для опалення будівельного споруди за відомими початковими (до збільшення теплового захисту) параметрами.

В останні роки рідка теплоізоляція стала дуже популярною як ефективний засіб зовнішньої ізоляції об'єктів теплоспоживання. Крім класичної теплоізоляції (мінеральна вата, піноплівка, подібне) термостійка фарба має найвищі теплоізоляційні властивості. По статистиці більшості виробничих фірм, коефіцієнт ізоляції  $\lambda_{із} = 0,0012$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С). Сьогодні на внутрішньому ринку

представлено велику кількість видів теплоізоляційних продукції (безпосередньо у формі фарби) Bronya, Korund, Magniterme та їх аналоги, що використовуються для утеплення зовнішніх стін будівель і споруд, трубопроводів теплових мереж, теплового обладнання. Робоча товщина енергозберігаючого покриття може доходити до 6 мм, проте рекомендована товщина плівки одношарового покриття мала б бути рівною 4 мм.

Наведу приклад техніко-економічного обґрунтування використання рідкого термоізолятора для зовнішнього утеплення стін будівлі. За вимірами термогігрометра Testo 610, була визначена температура внутрішнього і зовнішнього повітря  $t_{вн}=20,1^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{вн}=-3,5^{\circ}\text{C}$ . Густина теплового потоку вимірювалася по лічильнику тепла IPP-2 та становила  $q=30,1\text{ Вт/м}^2$ . Тоді відповідно до формули (2.7) коефіцієнт термостійкості становитиме  $R=0,784\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ .

Для випадку, який розглянуто, на рис. 10 наведено графік змін енергоефективності як функція товщини теплоізоляційного шару. Побудова проводилася по формулі (2.6).

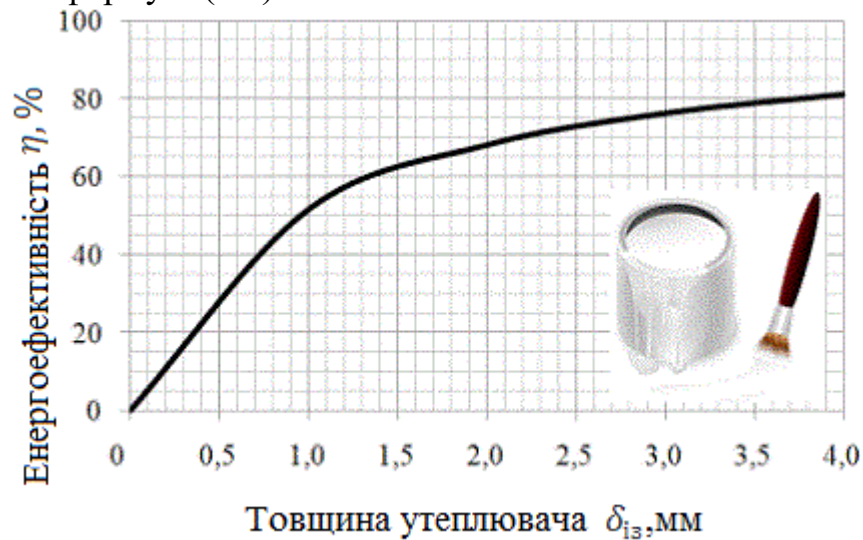


Рис. 10 – Графік залежності енергоефективності від товщини шару утеплювача. Використовуючи графічну залежність на рис. 10, можливо оцінити відносну економію палива при обраній товщині теплоізоляції. Як приклад, якщо товщина теплоізоляційного шару  $\delta_{із}=2\text{ мм}$  то, енергоефективність становитиме  $\eta=68,0\%$ .

Після таких досліджень можна перейти до техніко-економічного обґрунтування в абсолютних значеннях. Припустимо, що річне споживання теплової енергії для опалення будівлі з об'ємом дорівнює  $V=7200\text{ м}^3$ . Ціна на природній газ рівна  $7\text{ грн./м}^3$ .

Річна економія при використанні теплоізоляційного матеріалу буде рівна 3%.

$$E = (7200 * 0,03) * 7 = 1512 \text{ грн.} \quad (2.8)$$

Отже, при мінімальній товщині утеплювача  $\delta_{із}=1\text{ мм}$  річна економія теплової енергії становитиме  $\eta=51\%$  за даними графічної залежності рис. 10. Наближена витрата фарби на одношарове покриття дорівнює  $1,25\text{ л/м}^2$  (при товщині шару 1 мм), оптова ціна теплоізоляційної фарби в середньому становить  $90\text{ грн./л}$ . Світовий досвід засвідчує, що витрати на використання такого матеріалу становлять лише 2% вартості енергоносіїв.

Витрати на енергоносії та фарбу:

$$B = (7200 * 7) * 0,02 = 1008 \text{ грн.} \quad (2.9)$$

$$T_0 = B/E = \frac{1008}{1512} = 0,6 \text{ року} \quad (2.10)$$

Тоді термін окупності енергозберігаючих матеріалів по діючому тарифу на природний газ складе 0,58 року. Отож, використання теплоізоляційної фарби для утеплення великих площ не завжди є економічно доцільним, через високу вартість інноваційного матеріалу. Однак, беручи до уваги проблеми енергозбереження та екології, позитивний ефект є значним.

## **2.4 Методика використання тепловізорів для визначення енергетичної ефективності теплової ізоляції**

На сьогоднішньому етапі тепловізор є чи на одним із найкращих інструментів для теплового контролю в самих різноманітних галузях промисловості. Головними сферами застосування промислових тепловізорів є теплоаудит будівельних об'єктів, виявлення несправних електромереж, тепловий моніторинг виробничого процесу та багато інших областей застосування, коли по неоднорідності теплових полів можна моніторити технічний стан підконтрольних суб'єктів.

Правильне та вчасне застосування тепловізора дає можливість виявити потенційно проблематичні ділянки об'єктів моніторингу для профілактичного обслуговування, попередити та зменшивши поточні експлуатаційні витрати. Наведу найпопулярніші напрямки сучасного будівництва і промислової термографії, де, на мою думку, найбільш доцільно використовувати згадані прилади.

Для галузі будівництва однією з важливих сфер теплового контролю є загальний енергоаудит будівель та споруд з метою оптимізації витрат на енергоносії. Контроль за будівлею, її огляд із подальшим аналізом її особливостей та даних про енергоспоживання дозволяє розшукати найкращі способи зменшення втрати енергії. Використання тепловізора для контролю будівельними спорудами має цілу низку переваг, однією з яких є можливість розпізнавати причини втрати теплової енергії, оцінювати розміри таких втрат, приймати відповідні рішення по їх зменшенню.

У будівельній галузі тепловізійна камера дозволяє виявити доволіні дефекти цегляної кладки та інших огорожувальних конструкцій, що є причиною втрат тепла. Термічно недосконалі ділянки конструкцій виявляються через, так звані, теплові мости, на які тепловізор реагує та точно реєструє. Отримані термограми, як результат обстеження, слугуватимуть доказом виробничого дефекту чи недосконалого проектування будівлі.

Одним із найбільш поширених серед дефектів ОК, який збільшує тепловтрати, є проблема з отворами (дверима, вікнами, тощо). Дефекти віконних конструкцій спричинюють підвищений шум, протяги, запотівання і сирість. Достатньо висока чутливість теперішніх тепловізорів дає можливість виявити навіть незначні зміни температури, визначаючи тим самим проблематичні зони для їх можливого ремонту.

Через достатньо високу вартість енергоресурсів проблеми енергозбереження є актуальними не лише для житлових будинків, а й для інших виробничих споруд. Професійний контроль з використання тепловізійних приладів житлових будинків і споруд є сферою діяльності, що швидко окупується та дозволяє отримати доволі значну економію матеріальних ресурсів.

За результатами застосування заходів теплоізоляційного контролю можливо виявити та оптимізувати:

- усунення дефектів теплоізоляції та теплотраси;
- забезпечити дотримання оптимальної температури та вологості в приміщеннях;
- безпечну роботу побутової техніки, виробничого обладнання, меблів, подібного;
- оптимізувати витрати на опалення та поточний ремонт.

Крім цього ще однією галуззю застосування тепловізора у сфері будівництва стає тепловізійний контроль за системами опалення, вентиляції, кондиціонування повітря. Сам у таких системах причинами втрати енергоресурсів можуть слугувати помилки проєктантів, порушення норм експлуатації, зберігання та транспортування виробів. Швидко ідентифікуючи ділянки з аномальним розподілом температури, за результатами теплового контролю є можливість судити про відповідність монтажу та налаштування інженерних комунікацій.

Окрім цього виділяють ще й інші напрямки тепловізійного контролю в будівництві, а саме: пошук місць проникнення вологи, пошук трубопроводів гарячої та холодної води та місця їх можливих розривів.

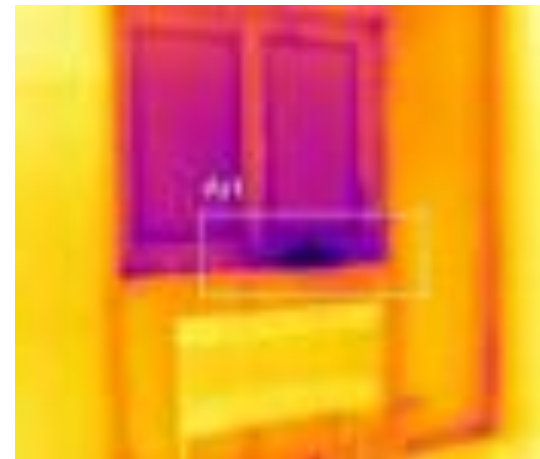


Рис. 11 – Приклади тепловізійного контролю житлових приміщень.

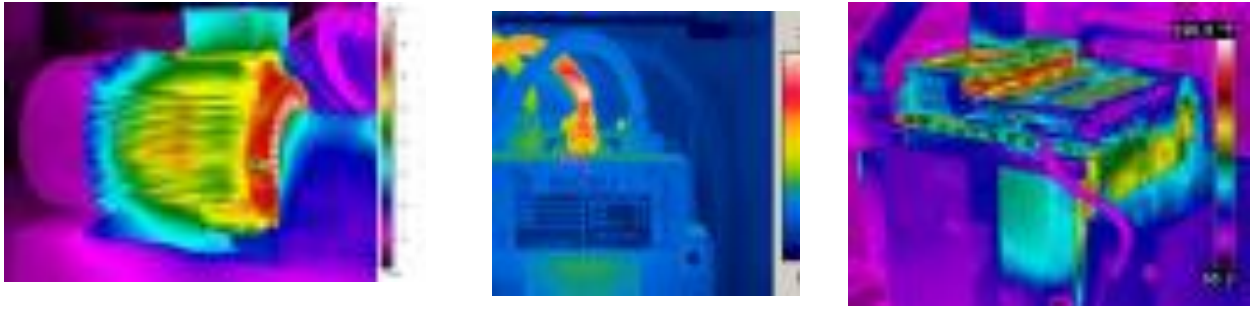


Рис. 11 – Приклади тепловізійного контролю виробничого обладнання.

Для промислового виробництва головною метою теплового контролю є виявлення дефектів обладнання на їх початковій стадії. Аномальний перегрів механічних компонентів найчастіше свідчить про надмірне навантаження, це також говорить про ризик збою механічної системи. Використання промислової тепловізійної техніки може надавати можливість виявити проблемні зони для їх профілактичного обслуговування, сильно скоротити подальші експлуатаційні витрати.

Сучасні тепловізійні прилади можливо використовувати в довільних галузях промисловості. Серед найбільш розповсюджених областей теплового контролю хочеться відмітити профілактичну діагностику промислового обладнання, контроль за наповненням резервуарів, пошук несправних електромереж, моніторинг сонячних панелей, аналіз критичних температур на платах та інші проблемні моменти, коли отримана термограма попереджує про технічну несправність контрольованого обладнання чи суб'єкту в цілому.

Типові суб'єкти для тепловізійного дослідження в промисловому виробництві включають машини, конвеєри, турбіни, компресори, насоси, генератори, системи опалення чи охолодження, довільне гідравлічне обладнання, тощо.

Для роботи енергетичного сектору важливі напрямки теплового контролю наступні: пошук перегрітих ділянок електромереж, димоходів, парових і водяних котлів. Тепловізор можливо використовувати для пошуку невідповідностей у ізоляції трубопроводів і турбін, визначення місць проникнення холодного повітря, перевірки ефективності систем охолодження трансформаторів, двигунів, ліній електропередачі та подібного обладнання.

Типовими елементами контролю в енергетиці є довільні конденсатори, вимикачі, розподільчі щити, місця контактів, з'єднань електропровідників, трансформатори, генератори, акумулятори, котли, парові системи та довільне подібне обладнання.

Окремою сферою тепловізійних досліджень в енергетиці є перевірка сонячних енергосистем, яка виконується, щоб дотримуватися безпеки та проводити аналіз параметрів використання. Сучасні тепловізійні камери забезпечують можливість контролю за показниками інтенсивності сонячного випромінювання, який може зберігатися поряд із тепловими зображеннями та в подальшому буде використовуватися при аналізі результатів моніторингу.

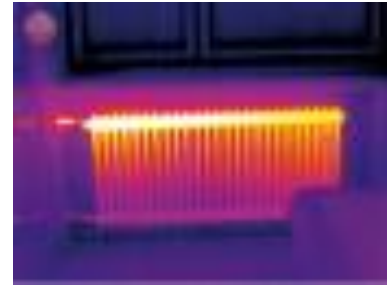
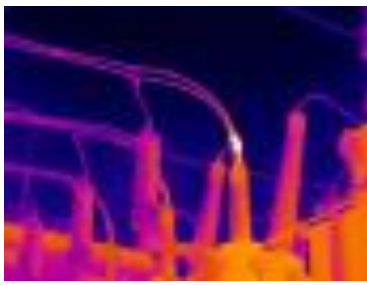


Рис. 12 – Приклади тепловізійного контролю в енергетичному секторі виробництва.

Для нафтогазового комплексу тепловізійні камери використовують у моніторингу заповнення резервуарів. Це дає можливість дистанційно визначати температуру та рівень рідини, здійснюючи такі вимірювання максимально швидко та безпечно. Тепловізор можливо використовувати для контролю систем протипожежного захисту, систем резервуарів, наприклад, трубопроводів та систем їх електрообладнання, що дозволяє дистанційно виявляти критичні місця перепаду температур. При використанні тепловізійного обладнання контроль за магістралями трубопроводів допустимий з висоти до 400-500 метрів і швидкості польоту до 250-300 км/год.

Для хімічної промисловості тепловізійна камера дозволяє вирішувати аналогічні проблеми, як і для нафтогазової сфери, насамперед, може перевіряти рівень доволі глибоких водойм, діагностувати герметичність та ізоляцію резервуарів, проводити загальний моніторинг температури речовин по всьому об'єму. Важлива перевага тепловізійного моніторингу для хімічної промисловості – це надзвичайно низький рівень теплового впливу, окрім цього, використання тепловізійної техніки можливе як у стаціонарному режимі, так і під час роботи обладнання. Швидкість і надійність результатів дистанційного теплового обстеження дозволяють працівникам швидко реагувати на довільні хімічні процеси.

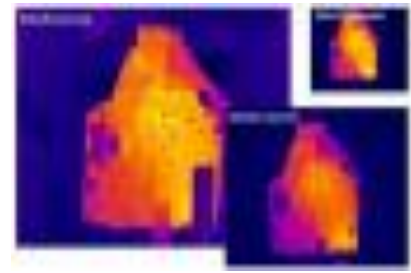
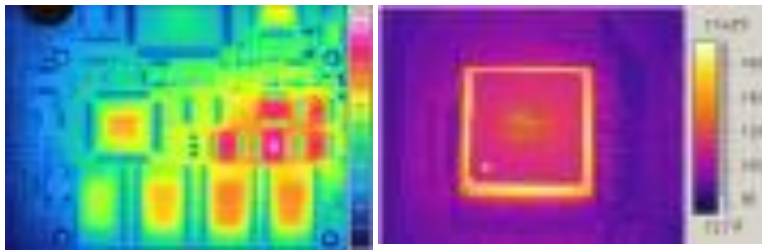
Для сфери електроніки й електротехніки тепловізійні прилади дають можливість оцінити рівні нагріву в низьких, середніх і високовольтних системах електропостачання та електроспоживання. Отримані термограми сприяють своєчасному виявленню несправностей, проблемних ділянок електричних мереж, пошкоджених споживачів електричних кіл та джерел енергії, здійсненню попереджувальних та ремонтних заходів на проблемних ділянках електрообладнання.

Для процесів дослідження електрообладнання важливим фактором тепловізійних приладів є безконтактний характер їх використання. Окрім цього, тепловізійний моніторинг не вимагає зупиняти роботу виробничих процесів на час проведення вимірювань. Одержані термограми надають інформацію про стан об'єктів, тепловий контроль яких практично неможливий чи дуже проблемний без тепловізора, як приклад, для електричних кабелів, прокладених у технічних рукавах чи стельових, стінних закритих нішах.

До головних напрямків тепловізійного моніторингу в галузі електричного обладнання треба віднести контроль систем розподілу та транспортування електроенергії: трифазні електричні кола, розподільчі щити та шафи, запобіжники, електропроводка, силові підстанції, вимірювальні прилади;



контроль електромеханічних систем та обладнання: електродвигуни, насоси, вентилятори, підшипники, трансмісії, конвеєри



та ін.

Рис. 13 – Приклади тепловізійного моніторингу електричних плат у мікроелектроніці.

## 2.6 Моніторинг огорожувальних будівельних конструкцій тепловізором

Термографія в інфрачервоному діапазоні (ІЧ-термографія, іноді її називають «тепlobачення») використовує методи та засоби безконтактного моніторингу теплового випромінювання довільних предметів, інтенсивність якого буде визначатися їх температурою та коефіцієнтами випромінювання реальних тіл, і, не слід забувати, про відбите та виявленого випромінювання сторонніх джерел. За низького рівня сторонніх випромінювачів ІЧ-зображення інформують про структуру температурного поля суб'єкта, який досліджується. У такому випадку можна говорити про пірометрію – безконтактне вимірювання температури тепловізійним приладом. Основною відмінністю ІЧ-тепловізорів від ІЧ-термометрів, або ІЧ-пірометрів, є унікальна можливість фіксувати розподіл температури у величезному масиві точок із частотою телевізійної розгортки. Сьогоднішні портативні вимірювальні тепловізійні камери дозволяють забезпечити формат пікселів 640x320 з частотою кадрів до 30-50 Гц. Коротко зупинюся на деяких стандартних характеристиках тепловізорів без охолодження приймача випромінювання, а саме – температурна чутливість 0,1 °С, інтервал вимірюваних температур – 20-2000 °С, запис до 200-1000 термограм на вбудовану чи зовнішню картку пам'яті. Азотні, термоелектричні чи компресорно-охолоджені пристрої мають ще більш високу температурну роздільну здатність, проте не є зручними для практичних польових досліджень. Тепловізійні прилади, що не виконують вимірювання температури, можуть мати матриці до 1024x1024 пікселів.

ІЧ-зображення можуть візуалізуватися в одній з кольорових палітр, найчастіше застосовуються чорно-білі, кольори райдуги або компромісна палітра одного із спектрально чистих кольорів, наприклад, червоного. Тепловізор може характеризуватися однаковими властивостями розшифрування псевдокольорів, як і решта методів діагностування, які опрацьовують зображення, наприклад, рентгенівські, ультразвукові, подібні. Із професійної точки зору перевага надається сірим чи спектрально чистим напівтонам, що демонструють фотозображення як більш природне. Цифрова обробка зображень із використанням комп'ютерної техніки та наступним створенням кольорової

термограми дозволяє представляти результати термозйомки в більш приємній для ока людини формі.

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Технологічні аспекти пінополіуретанового напилення

ППУ, як правило, наноситься у вигляді суцільного або, ще його називають, монолітного покриття, що не має вигинів і не потребує особливих професіональних навиків. При технологічному процесі напилення ППУ, процедура короткотривала, через те, що не вимагає додаткової монтажної роботи.

Пересічному споживачу може видатися, що у нанесенні ППУ-теплоізолятора немає складнощів, через те, що, як правило, роботу проводить окремий працівник із спеціальним «пістолетом», що рівномірно наносить утеплювач на попередньо підготовлену поверхню. За змістом, це, все таки, робота з пінопластом, до якої необхідна висока кваліфікація спеціаліста, випереджує її цілий комплекс підготовчої роботи, правильний підбір сумішей і обладнання, та багато інших моментів. У роботі зупинюся на самих важливих деталях у технології нанесення ППУ.

Найперше, потрібно правильно підібрати густину термоізолятора. Промисловість пропонує доволі великий вибір різновидів пінополіуретану, проте для утеплення рекомендують користуватися лише твердим. Саме він може забезпечити мінімальну теплопровідність, застосування ППУ саме цього типу створить стабільну теплоізоляцію на значний період її експлуатації.

Окремо відзначають, що коефіцієнт теплопровідності не залежатиме від густини. Він скоріш регулює гідроізоляційні параметри. Тому підбір густини ППУ залежатиме від того, де планується провести нанесення утеплювача, а саме:

- коли внутрішня частина приміщення вже утеплена, можна користуватися ППУ мінімальної густини;
- коли утеплений фундамент, тоді шар ППУ, який буде наноситися, повинен мати густину більшу за  $32 \text{ кг/м}^3$ .

Коли постає питання вибору товщини теплоізоляції ППУ, то дана характеристика повинна опиратися на точному розрахунку, відповідно до існуючих нормативних актів. Технологія створення теплоізоляційного шару ППУ підрозуміває товщину не меншу 50 мм у зовнішньому теплоізоляторі. Ширина нанесеного шару не залежатиме від типів поверхні, на яку буде проводитися розпилення, і тому вона буде однаковою як для цегляної стіни, так і для дерев'яної. Від конкретної технології напилення ППУ та товщини шару залежатимуть характеристики режиму температури, яку потрібно підтримувати, постійність до теплопередачі та інші закономірності у відповідності до нормативної документації. Одним із прикладів нанесення ППУ можливий наступний, піна ППУ розподіляється рівномірно, що забезпечує суцільне покриття без розривів та інших площинних нерівностей.

Термін служби теплоізоляції ППУ, який гарантується виробниками може бути досягнутий лише при якісному напиленні, котре повинно бути виконаним із дотриманням технології напилення. На рис. 14 зображена установка для напилення ППУ. Фахівців по утеплення навчають працювати з нею протягом

кількох місяців. Така робота виконується працівниками високої кваліфікації, вимагає якісного обладнання та цілого ряду робіт по підготовці поверхонь, на які буде проводитися напилення.



Рис.14 – Установа для напилення пінополіуретану

Більш детально зупинюся на послідовності напилення теплоізолятора. Перед розпилення та нанесенням ППУ утеплювач потрібно рівномірно прогріти до температури, яка зазначена паспорті виробника продукції. Це є обов'язковою умовою.

Поверхню, на яку планується наносити ППУ попередньо обробляють, висушують та знежирюють безпосередньо перед напиленням.

Установа обприскування ППУ гарантує якісне рівномірне змішування двох фаз суміші, при умові, що тонкий шар піни генерується після повної реакції змішування між фазами. Тому кращі результати можуть бути досягнутими при використанні систем високого тиску.

Для оператора є обов'язковим перед початком роботи з пінопластом переодітися та одягнути індивідуального засоби захисту, а саме респіратор, рукавці, захисний комбінезон, щоб тіло було повністю закрито від можливого випадкового безпосереднього контакту із сумішшю фаз ППУ.

Перший шар напилюють незначною товщиною 2-5 мм. Він служитиме клейовим покриттям (див. рис. 15), кожен із наступних шарів потрібно рівномірно напилювати товщиною 10-25 мм. Крім того, кожне наступне напилення шарів ППУ можливе лише після того, як попередній шар повністю висохне. У результаті для замовника буде створено рівномірне покриття термоізоляції саме необхідної товщини, яке зможе прослужити до 50 років без зміни своїх теплоізоляційних властивостей.



Рис. 15 Процес напилення шару ППУ

На практиці вищеописану технологію напилення доволі складно витримувати. Лише досвідчені фахівці можуть гарантувати рівномірне нанесення шарів необхідної товщини без утворення тріщин чи можливих інших дефектів. Тому у кваліфікаційній роботі цьому питанню надано великого значення.

### **3.2 Дослідження роботи та теплоізоляції твердопаливного котла УТВ-2,5**

У кваліфікаційній роботі було проведено тепловізійні дослідження термоізоляції твердопаливного водогрійного промислового котла УТВ-2,5, потужністю 2,5 МВт. Коротко зупинюся на його призначенні та характеристиках.

Котли водогрійні твердопаливні, з маркуванням УТВ, з максимальним підігрівом води 115°C та тиском води до 6 МПа призначені для тепlopостачання будівель промислового, житлового, громадського призначення. Вони використовують в якості основного палива дрібно фракційні, пилові відходи, які мають промислове чи рослинне походження.

Для розпалювання та підігріву таких котлів використовується природний газ (по ГОСТ5542) під тиском до 20 кПа або ж скраплений газ (за ДСТУ 4047) під тиском до 30 кПа. В якості основного палива використовується торф'яний пил чи тверді пилоподібні відходи, які отримуються при переробці продуктів органічного та рослинного походження в сільськогосподарському виробництві, лісовому господарстві, при переробці гумовотехнічних виробів, наприклад, пиловидний вуглець, продукти піролізу автомобільних шин. Їх область використання – це теплотехнічне господарство, а саме опалення, гаряче водопостачання.

Такі котли працюють в автоматичному режимі, проте з постійно присутнім обслуговуючим персоналом.

Наведу основні технічні характеристики таких котлів:

- номінальна теплова потужність 2,5 МВт;
- коефіцієнт корисної дії не менший 85%;
- витрата торф'яного або деревинного пилу не більше 750 кг/год.;
- номінальна температура води на виході не більше 90°С;
- максимальний робочий тиск води 0,6 МПа;
- максимальне розрідження в камері згорання не менше 30 Па;
- температура продуктів згорання вихідних газів не менша 120°С;
- гідравлічний опір не більший 0,03 МПа;
- загальна електрична потужність 28,85 кВт;
- температура зовнішніх поверхонь елементів установки, яка доступна для персоналу не більша 40°С;

Дещо про конструкцію та роботу котла. У його склад входить бункер зберігання, об'ємом 100 м<sup>3</sup>, обсяг якого забезпечує роботу двох котлів протягом 3-х діб. Заповнення його відбувається пневмотранспортом. Повністю закрита система подачі палива виключає попадання пилу в навколишнє середовище, забезпечує чистоту палива та оберігає від попадання атмосферних опадів у паливо.

Оперативний бункер, об'ємом 2 м<sup>3</sup> призначений для оперативного зберігання палива окремого котла та дозованої пневмоподачі палива на пилогазовий пальник ПГП.

При спрацюванні нижнього давача рівня палива в оперативному бункері, автоматично здійснюється його наповнення з бункера зберігання пневмотранспортом.

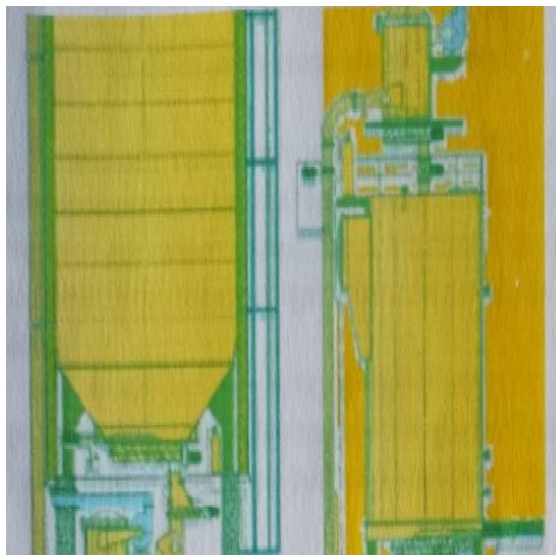


Рис. 16 – Загальний вигляд оперативного бункера.

Коротко про принцип роботи. Пилове паливо завантажують з автомобілів-пиловозів у бункер зберігання. З нього у витратний бункер паливо потрапляє пневмотранспортом автоматично. Рівень палива в завантажувальному бункері контролюється давачами нижнім робочим та ще одним аварійним. Шнек завантаження подає паливо пилопроводом на пальник. Електричний привід шнека обертається пропорційно заданій потужності установки, тим самим подаючи паливо в необхідній кількості. Швидкість обертання шнека завантаження регулює частотний перетворювач шнека завантаження. Вторинне повітря штовхає пиловидне паливо з виходу шнека завантаження у вентилятор подачі та далі по пилепроводу в пилогазовий пальник. Обсяг вторинного повітря регулюється заслінкою вентилятора подачі. Для того, щоб пиловидне паливо не «злежувалося», на бункері завантаження встановлено аеропластилини.

Газопиловий пальник працює в модуляційному режимі з коефіцієнтом регулювання 20-100%. Автоматика забезпечує розпал, перехід на тверде паливо та контроль аварійних параметрів.

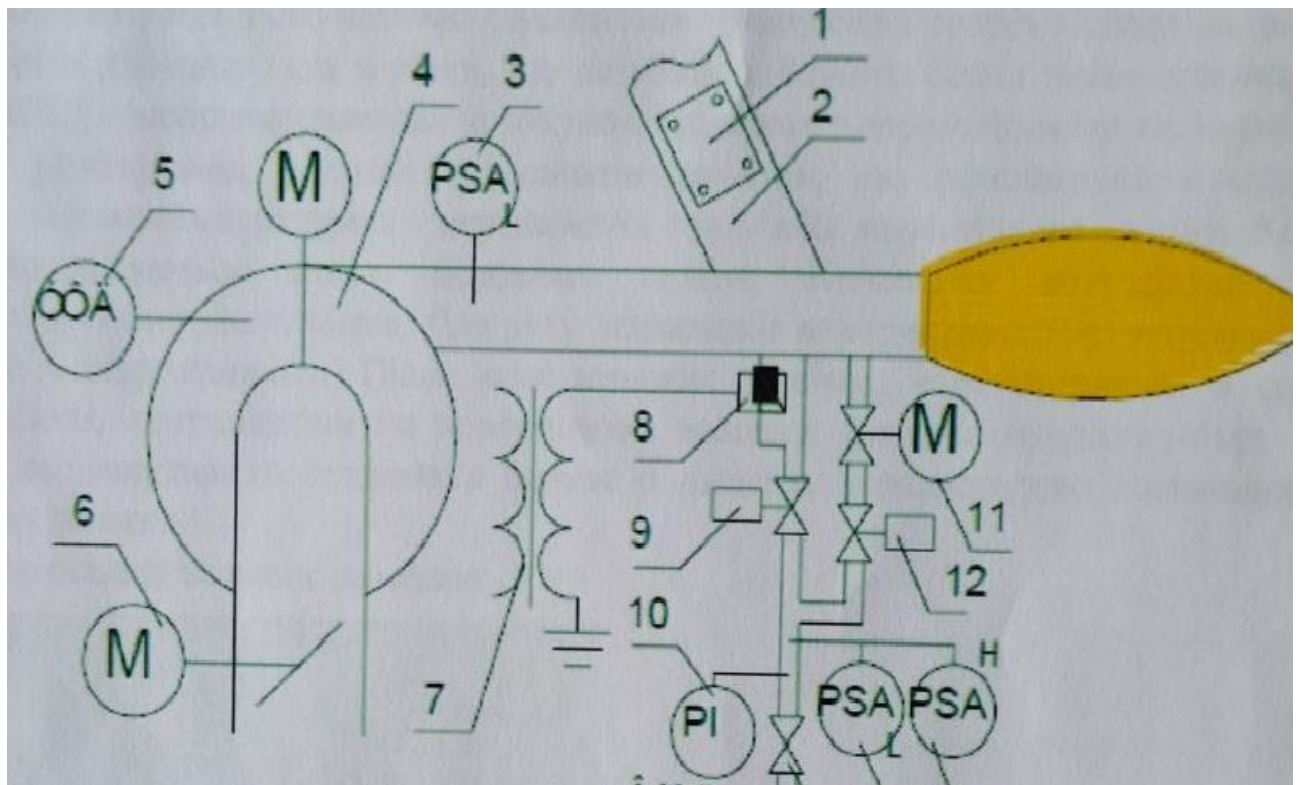


Рис. 17 – Принципова схема пальника газопилового блочного

1 – люк для очищення пилеводу; 2 – пилевід; 3 – давач контролю пониження тиску повітря вентилятора пальника; 4 – вентилятор пальника з електроприводом; 5 – фотодавач УФД; 6 – повітряна заслінка з електроприводом; 7 – трансформатор

розпалу; 8 – свічка запалювання; 9 – клапан запальника; 10 – манометр; 11 – газова заслінка з електроприводом; 12 – клапан пальника; 13 – ручний кран; 14 – давач контролю пониження тиску природного газу; 15 – давач контролю підвищення тиску природного газу.

Принцип його роботи наступний. З пилеводу рис. 17, позначка 2 пилове паливо потрапляє в пальник, де розпалюється в полум'ї газової підсвітки. Розпалювання пальника проходить на природному газі із забезпеченням правил безпеки згідно ДБН 2.5. Після розпалу пальника з контролем полум'я, відбувається його перехід на номінальний режим по газу. Як тільки температура в камері горіння досягне значення 700-800°C, що контролюється давачем температури, автоматично з пилеводу подається пилове паливо та знижується витрата газу по режиму «підсвітки», який забезпечує горіння пиловидного палива.

Потужність пальника регулюється автоматично в залежності від температурного графіку.

Топка або камера згорання футерована вогнетривким бетоном. Він витримує температуру до 1350°C, що істотно подовжує термін експлуатації котла.

Топка спільно з нижньою частиною установки створюють систему склепінь, яка збільшує час перебування димових газів у камері згорання, що дозволяє здійснити більш повне вигорання, а також збільшення ккд та зменшення викидів за рахунок теплового випромінювання вогнеупора.

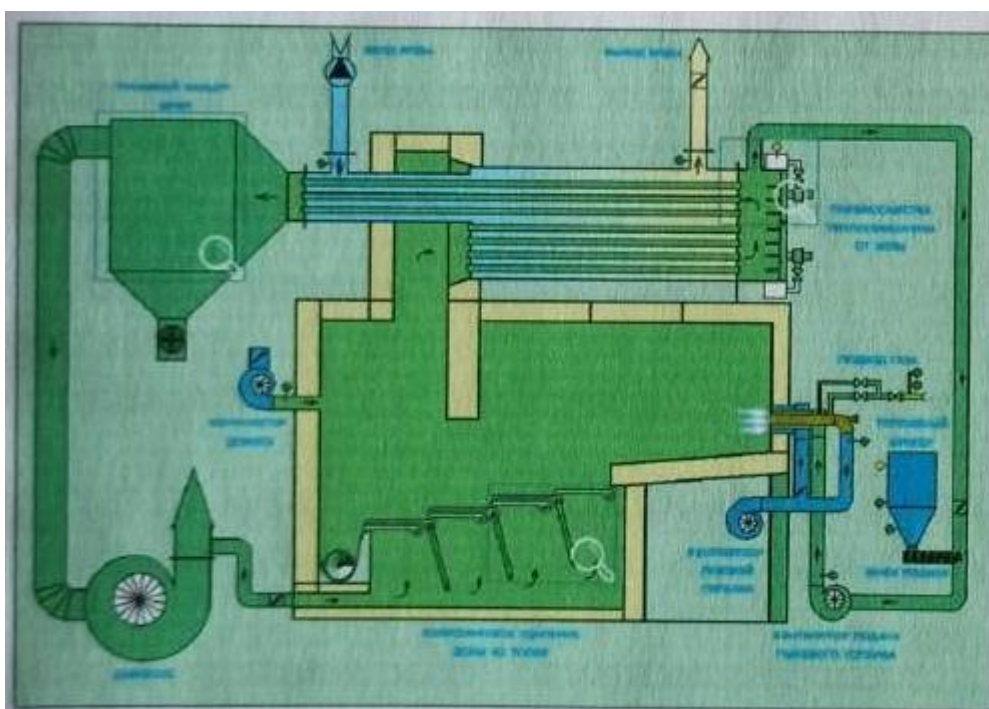


Рис. 18 – Камера згорання з осаджувальною камерою.



Для повного спалювання СО, у хвостову частину камери згорання вентилятором допалу нагнітається повітря. Витрата повітря на допалрегулюється за показниками стаціонарного газоаналізатора.

Пилове паливо розпалене в камері згорання горить та виділяє горючий газ СО, який догорає в хвостовій частині камери згорання. Основна частина золи осідає на колосникову решітку, для чого встановлена відбійна перегородка між первинною та вторинною осаджувальними камерами. Димові гази піднімаються і рухаються у вторинну осаджувальну камеру, в якій осідає дрібна частина золи. Далі димові гази проходять двоходовий теплообмінник. Після теплообмінника димові гази попадають в рукавний фільтр, де повністю 99% очищаються від летючих пиловидних частинок, після чого видаляються через димосос в димохід. Димосос підтримує розрідження в камері згорання. Керує швидкістю обертання димососу частотний перетворювач.

Декілька слів про принцип роботи теплообмінника. Він жаротрубний двоходовий і призначений для нагрівання води в системах гарячого водопостачання або опалення за рахунок теплоти відхідних димових газів. Ефективно забезпечує відбір тепла. Теплообмінник розрахований на тиск до 8атм і температуру до 115°C.

Він відноситься до типу кожухотрубних теплообмінників і складається з циліндричного корпусу з фланцями для підключення до димоходу, та патрубками для підключення мережевої води. Димові гази через теплообмінник прокачуються з допомогою димососа, який встановлено після рукавного фільтра.

Всередині корпусу встановлені теплообмінні трубки з'єднані за допомогою трубних дошок.

Контроль значення тиску в корпусі теплообмінника здійснюється манометром, скидання надлишкового тискупроводиться запобіжно-скидним клапаном. Відведення повітря з корпусу теплообмінника виконується автоматичним відвідником повітря. Для контролю температури димових газів на газоході встановлений термодавач. Контроль температури води здійснюється термодавачами, давачами тиску.

Підключення теплообмінника до мережевої води виконується з допомогою відповідних фланців. Напрямок руху димових газів і води зустрічний.

Після монтажу теплообмінника, зовнішні поверхні теплоізолюються спільно з газоходами.

Пневмоочистка теплообмінника забезпечує автоматичне очищення димогарних труб від утворення осаду продуктів згорання. Повітря під високим тиском, порядку 4-5 бар подається поперемінно в різні зони. Управління здійснюється за допомогою мембранних електроклапанів. Сама система пневмоочистки складається з ресивера та пневмоклапанів з незалежним управлінням.

Рекомендації по утепленню корпусу котла, розроблені після проведення тепловізійних досліджень були виконані на підприємстві «Тернопільтепло». Після використання теплоізоляції коефіцієнт корисної дії котла збільшився на 2,8% і у номінальному режимі роботи котла становив 87,8%. Це дало змогу збільшити виробничу потужність котла на 1,76% при однакових режимах роботи до та після проведення робіт по утепленню.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **4.1.1 Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом**

Перша медична допомога – це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога). Найважливіше положення надання першої допомоги – її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок.

Послідовність надання першої допомоги:

- усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;
- визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;
- виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);
- підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;
- викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Рятування потерпілих від впливу електричного струму залежить від швидкості звільнення його від струму, а також від швидкості та правильності надання йому допомоги. Зволікання може зумовити загибель потерпілого. При ураженні електричним струмом смерть часто буває клінічною, тому ніколи не слід відмовлятися від надання допомоги потерпілому і вважати його мертвим через відсутність дихання, серцебиття, пульсу. Вирішувати питання про доцільність або непотрібність заходів з оживлення та винести заключення про його смерть має право лише лікар.

Весь персонал, що обслуговує електроустановки, електричні станції, підстанції та електричні мережі, повинен не рідше 1 разу на рік проходити інструктаж з техніки безпеки про експлуатацію електроустановок, з надання

першої медичної допомоги, а також практичне навчання з прийомів звільнення від електричного струму, виконання штучного дихання та зовнішнього масажу серця. Заняття повинні проводити компетентні особи з медичного персоналу або інженери з техніки безпеки, котрі пройшли спеціальну підготовку і мають право навчати персонал наданню першої допомоги. Відповідальним за організацію навчання є керівник об'єкта, що проектується.

В місцях постійного чергування персоналу повинні бути:

- аптечка з необхідними пристосуваннями та засобами для надання першої медичної допомоги;
- плакати, присвячені правилам надання першої допомоги, виконання штучного дихання та зовнішнього масажу серця, вивішені на видних місцях.

Дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, викликає мимовільне судомне скорочення м'язів та загальне збудження, котре може призвести до порушення і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу. Якщо потерпілий тримає провід руками, його пальці так сильно стискають, що звільнити провід стає неможливо. В зв'язку з цим першою дією того, хто надає першу допомогу, повинне бути швидке вимкнення тієї частини електроустановки, до котрої доторкається потерпілий. Вимкнення здійснюється за допомогою вимикачів, рубильника або іншого вимикаючого апарата.

Якщо вимкнути установку швидко не можна, слід вжити заходів щодо звільнення потерпілого від струмоведучих частин, до котрих він торкається. У всіх випадках той, хто надає допомогу, не повинен доторкатися до потерпілого без належних запобіжних заходів, оскільки це небезпечно для життя. Він також повинен слідкувати, щоб самому не опинитися в контакті з струмоведучою частиною або під кроковою напругою.

Для звільнення потерпілого від струмоведучих частин або проводу напругою до 1000В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Потерпілого можна також відтягнути за його одяг (якщо він сухий та відстає від тіла), уникаючи дотику до оточуючих металевих предметів та частин тіла. З метою ізоляції рук той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати руку шарфом, натягнути на руку рукав піджака або пальто,

накинути на потерпілого гумовий килимок або просто сухий матеріал. Можна також ізолювати себе, ставши на гумовий килимок, суху дошку, жмут одягу. При відділенні потерпілого від струмопровідних частин рекомендується діяти одною рукою.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі, дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

#### **4.1.2 Дія електричного струму на організм людини**

Широке використання електроенергії у всіх галузях народного господарства зумовлює розширення кола осіб, котрі експлуатують електрообладнання. Тому проблема електробезпеки при експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

Електротравма – це травма, викликана дією електричного струму або електричної дуги. Електротравми поділяються на два види: електротравми, котрі виникають при проходженні електричного струму через тіло людини, і електротравми, поява котрих не пов'язана з проходженням струму через тіло людини. Ураження людини в другому випадку пов'язане з опіками, засліпленням електричною дугою, падінням, а відтак – суттєвими механічними ушкодженнями. Існує також поняття “електротравматизм”. Електротравматизм – це явище, котре характеризується сукупністю електротравм, котрі виникають та повторюються в аналогічних умовах та ситуаціях. Осередок, джерело електротравматизму – та чи інша тимчасова або навіть постійна ситуація при експлуатації електроустановок, коли мають місце аналогічні випадки ураження людини струмом.

Проходячи через тіло людини, електричний струм справляє термічну, електричну та механічну (динамічну) дію. Ці фізико-хімічні процеси притаманні живій та неживій матерії. Одночасно електричний струм здійснює і біологічну дію, котра є специфічним процесом, властивим лише живій тканині.

Термічна дія струму проявляється через опіки окремих ділянок тіла, нагрівання до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, котрі знаходяться на шляху струму, що викликає в них суттєві функціональні розлади.

Електролітична дія струму характеризується розладом органічної рідини, в тому числі крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Механічна (динамічна) дія – це розшарування, розливи та інші подібні ушкодження тканин організму, в тому числі м'язові тканини, стінок кровоносних судин, судин легеневої тканини внаслідок електродинамічного ефекту, а також миттєвого вибухоподібного утворення пари від перегрітої струмом тканинної рідини та крові.

Біологічна дія струму проявляється через подразнення та збудження живих тканин організму, а також через порушення внутрішніх біологічних процесів, що відбуваються в організмі і котрі тісно пов'язані з його життєвими функціями.

Підсумовуючи вище сказане, можна зробити висновок про те, що наслідками ураження людини електричним струмом можуть бути припинення роботи серця, зупинка дихання та електричний шок. Можлива також одночасна дія двох або навіть трьох цих причин. Припинення серцевої діяльності найбільш небезпечне, оскільки повернення потерпілого до життя є складним завданням. При ураженні серця може статися його зупинка, а також його фібриляція, яка настає значно раніше.

## **4.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.2.1 Пожежна безпека на об'єкті, що проектується**

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і в просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків.

Пожежна небезпека – можливість виникнення та (або) розвитку пожежі в будь-якій речовині, процесі, стані. Коли людина перебуває в зоні впливу пожежі, то вона може потрапити під дію наступних небезпечних та шкідливих факторів:

токсичні продукти згорання; вогонь; підвищена температура середовища; дим; недостатність кисню; руйнування будівельних конструкцій; вибухи; витікання небезпечних речовин, що відбуваються внаслідок пожежі; паніка.

Токсичні продукти згорання становлять найбільшу загрозу для життя людини, особливо при пожежах в будівлях. Адже в сучасних побутових та адміністративних приміщеннях знаходиться значна кількість синтетичних матеріалів, що є основними джерелами токсичних продуктів згорання.

Вогонь – надзвичайно небезпечний фактор пожежі, однак випадки його безпосередньої дії на людей досить нечасті. Під час пожежі температура полум'я може досягати 1200-1400°C і у людей, що знаходяться у зоні пожежі випромінювання полум'я можуть викликати опіки та больові відчуття.

Небезпека підвищеної температури середовища полягає в тому, що вдихання розігрітого повітря разом із продуктами згорання може призвести до ураження органів дихання та смерті. В умовах пожежі підвищення температури середовища до 60°C вже є життєво-небезпечною для людини.

Дим являє собою велику кількість найдрібніших часточок незгорілих речовин, що знаходяться в повітрі. Він викликає інтенсивне подразнення органів дихання та слизових оболонок.

Недостатність кисню спричинена тим, що в процесі горіння відбувається хімічна реакція оксидування горючих речовин та матеріалів. Небезпечною для життя людини уже вважається ситуація, коли вміст кисню в повітрі знижується до 14% (норма 21%). При цьому втрачається координація рухів, появляється слабкість, запаморочення, загальмовується свідомість.

Вибухи, витікання небезпечних речовин можуть бути спричинені їх нагріванням під час пожежі, розгерметизацію ємностей та трубопроводів з небезпечними рідинами та газами. Вибухи збільшують площу горіння і можуть призводити до утворення нових вогнищ.

Руйнування будівельних конструкцій внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур вибухів.

Паніка, в основному, спричинюється швидкими змінами психічного стану людини, як правило, депресивного характеру в умовах екстремальної ситуації (пожежі). Більшість людей потрапляють в складні та неординарні умови,

якими характеризується пожежа, вперше і не мають відповідної психічної стійкості та достатньої підготовки щодо цього. Коли дія факторів пожежі перевищує межу психофізіологічних можливостей людини, то остання може піддатись паніці. При цьому втрачається розсудливість, дії стають неконтрольованими та неадекватними. Паніка – це жахливе явище, здатне призвести до масової загибелі людей.

Для успішного проведення протипожежної профілактики на об'єктах, що проектуються важливо знати основні причини пожеж. На основі статистичних даних можна зробити висновок, що основними причинами пожеж є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Дуже часто пожежі спричинені необережним поводженням з вогнем. Пожежі через виникнення коротких замикань, перевантаження електродвигунів, освітлювальних та силових мереж в наслідок великих місцевих опорів, роботу несправних або залишених без нагляду електронагрівальних приладів складають більше 25% всіх випадків. Короткі замикання виникають внаслідок неправильного монтажу або експлуатації електроустановок, старіння або пошкодження ізоляції. Струм короткого замикання залежить від потужності джерела струму, відстані від джерела струму до місця замикання та виду замикання. Великі струми замикання викликають іскріння та нагрівання струмопровідних частин до високої температури, що супроводжується займанням ізоляції провідників та горючих будівельних конструкцій, котрі знаходяться поряд. Струмові перевантаження виникають при ввімкненні до мережі додаткових споживачів струму або при зниженні напруги в мережі. Тривале перевантаження призводить до нагріву провідників, що може викликати їх займання.

Температура провідника, що нагрівається при короткому замиканні, визначається за формулою:



$$t = t_H + I_{к.з.}^2 \times \frac{R\tau}{Cm},$$

де  $t_H$  – початкова температура провідника, °С;

$I_{к.з.}$  – сила струму короткого замикання, А;

$R$  – опір провідника, Ом;

$\tau$  – час короткого замикання, с;

$C$  – теплоємність провідника, Дж/(кг×°С);

$m$  – маса провідника, кг.

В комплексі заходів, що використовуються в системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найбільш раціональних способів та засобів гасіння. Горіння припиняється:

- при охолодженні горючої речовини до температури нижчої, ніж температура її займання;
- при зниженні концентрації кисню в повітрі у зоні горіння;
- при припиненні надходження пари, газів горючої речовини у зону горіння.

Припинення горіння досягається за допомогою вогнегасних засобів:

- води (у вигляді струменя або розпиленому вигляді);
- інертних газів (вуглекислота та інші);
- хімічних засобів (у вигляді піни або рідини);
- порошкоподібних сухих сумішей (суміші піску з флюсом);
- пожежних покривал з брезенту та азбесту.

Вибір тих чи інших способів та засобів гасіння пожеж та вогнегасник речовин і їх носіїв визначається в кожному конкретному випадку залежно від стадії розвитку пожежі, масштабів розгортань, особливостей горіння речовин та матеріалів.

Щодня в нашій країні (по статистичним даним) виникає більше 100 пожеж, в яких гине 5-6 чоловік. Наносяться значні матеріальні збитки (прямі та побічні збитки від пожеж складають близько 2 млрд. грн. на рік). Тому протипожежній безпеці повинна приділятися особлива увага не лише на діючих підприємствах, але й при проектуванні об'єктів громадського призначення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі приведено результати аналізу, теоретичних досліджень та розрахунків систем теплоізоляції огорожуючих конструкцій будівельних споруд житлового та виробничого призначення. На основі проведеного аналізу та отриманих результатів досліджень зроблені наступні висновки:

1. При будівництві теплоізоляція може зменшити товщину огорожувальних конструкцій (стін, дахів), зменшити витрату основних матеріалів (цегли, бетону, дерева), полегшити конструкції та знизити їх вартість, знизити витрату енергоресурсів під час опалювального періоду. У технологічному та енергетичному обладнанні теплоізоляція зменшує тепловтрати, забезпечує необхідний температурний режим, зменшує питому витрату палива на одиницю готової продукції, покращує умови праці. Для того, щоб мати достатній ефект від використання теплоізоляції, в інженерних проектах виконують відповідні теплові розрахунки, підбирають конкретні види теплоізоляційних матеріалів і враховують їх теплові характеристики. Ці заходи дають можливість успішного вирішення проблеми економії пального та енергоресурсів.

2. Проведено аналітичний огляд теплотехнічних та інших механічних характеристик сучасних теплоізоляційних матеріалів, які використовуються для утеплення огорожуючих конструкцій будівельних споруд. Вказано на необхідність використання енергоефективних теплоізоляційних матеріалів, як найбільш придатних по теплотехнічних параметрах та енергоощадних у порівнянні іншими.

3. Рекомендації по утепленню корпусу котла, розроблені після проведення тепловізійних досліджень були виконані на підприємстві «Тернопільтепло». Після використання теплоізоляції коефіцієнт корисної дії котла збільшився на 2,8% і у номінальному режимі роботи котла становив 87,8%. Це дало змогу збільшити виробничу потужність котла на 1,76% при однакових режимах роботи до та після проведення робіт по утепленню.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Венчек Б. Инфрачервона тепловізія. Основи та застосування / Б. Венчек, Г. Де Мей. – Ф.П. ПАК. Кшиштоф Пшибіла, 2011. – 372 с.26.
2. Ватін Н. І. Реконструкція адміністративних будівель 70-х років: Можливість енергомодернізації. Журнал прикладної інженерної науки / Н. І. Ватін, Д. В. Немова, В. Мургул, В. Пухкал, А. Голик, Є. Чижов // Істраживання и Проектованя за Привреду. – 2014. – No 1. – 37–44.
3. Линеверг Ф. Измерение температур в технике : справочник / Ф. Линеверг ; под ред. Л. А. Чарихов; [пер. Т. И. Киселева, В. А. Федорович]. — М. : Metallurgiya, 1980. – 543 с.
4. Замовскіс М., Ванана Р., Блумберга А. Математичне моделювання експлуатаційних характеристик нового типу кліматично-адаптивної будівельної оболонки. Energy Procedia 2017;113:270–276.
5. Фортуна С., Мора Т.Д., Перон Ф., Романьоні П. Екологічні характеристики збірної композитної стіни з бетону. Energy Procedia 2017;113:90–97.
6. Adityaa L, Mahliaa TMI, Rismanchic B, Nge NM, Hasane MH, Metselaare HSC, Oki M, Aditiyab HB. Огляд ізоляційних матеріалів для енергозбереження в будівлях. Огляди відновлюваних джерел та сталої енергії 2017; 73:1352–1365.
7. Fanga Z, Lia N, Lia B, Luod G, Huanga Y. Вплив ізоляції оболонки будівлі на споживання енергії на охолодження влітку. Енергетика та будівництво 2014;77:197–205.
8. Ахундов А.В., Перспективи вдосконалення технології пінобетону. Будівельні матеріали - 2002 рік. - No8 с.10.
9. Будівельні норми та норми: Теплоізоляція обладнання та трубопроводів (зі змінами N 1): СНІП 2.04.14-88 10. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31: 2006. – Київ.: Мінбудархітектури України, 2006. - 71с. . – (Державні будівельні норми України).

11. Тейлор Т. Поєднуючи термографію та комп'ютерне моделювання для виявлення та оцінки дефектів ізоляції при будівництві фасадів будівель / Т. Тейлор, Дж. – 2014. – Том 76. – 130–142.
12. Корниенко С. В. Комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты зданий / С. В. Корниенко // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – No 11 (26). – С. 33–48.
13. Богословский В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
14. Гончаров Э. И. Строительная теплофизика: учебнометодический комплекс / сост. Э. И. Гончаров и Е. С. Добросольцева; под общ.ред. Э.И. Гончарова. – Новополюцк: ПГУ, 2009. – Некеміте италия:
15. Кунго Я.А., Твардовский П.М. Автоматизация управления и регулирования напряжения в осветительных установках. – М.: Энергия, 1999. – 128 с.
16. Олійниченко І. Р. Економія при опаленні приміщення за рахунок використання матеріалів, що відбивають теплове випромінювання. Вісник КНУТД. – 2013. – No 6. – С. 146–149.
- 17 Білявский Г.О., Фундуй Р.С. Основы екологічних знань. – К.: Либідь, 1997. – 288 с.
18. Камендерс А., Вілкане Л., Індзере З., Блумберга Д. Зміна попиту на тепло та балансу енергетичних ресурсів у Латвії. Energy Procedia 2017;113:411–416.
19. Miezis M, Zvaigznitis K, Stancioff N, Soeftestad L. Зміна клімату та енергоефективність будівель. Екологічні та кліматичні технології 2016;17:30–43.
- 20. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 280 с**
21. Основы охорони праці – Жидецький В.Ц. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 320 с.
22. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник /Под общ. Ред.. К.М. Великанова/ – Л.: Машиностроение, 1990. – 448 с.

23. Гусак Т.О., Підвищення енергоефективності теплової ізоляції водогрійних твердопаливних котлів. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей X міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листоп. 2021.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2021. – С. 24.