

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Ефективність застосування гідродинамічних теплогенераторів
тепла в промисловості та житлово-комунальній сфері**

Виконав: студент 6 курсу, групи **ЕМм-61**

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

		Лижник В.О.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Зінь М.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Коваль В.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		Габрусєва І.Ю.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Електричної інженерії

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.

«_____» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лижнику Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Ефективність застосування гідродинамічних теплогенераторів
тепла в промисловості та житлово-комунальній сфері

Керівник роботи Зінь Мирослав Михайлович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом по університету від 23 серпня 2019 року № 4/7-731

2. Термін подання студентом роботи 19 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (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
<i>Спеціальна частина</i>	<i>к.т.н., доц. Зінь М.М.</i>		
<i>Обґрунтування економічної ефективності</i>	<i>д.е.н., проф. Малиута Л.Я.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Гурик О.Я.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>ст. викл. Клепчик В.М.</i>		
<i>Екологія</i>	<i>к.т.н., доц. Зварич Н.М.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. Коваль В.П.</i>		

7. Дата видачі завдання

01 вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком дипломної роботи	01.09.19 – 01.10.19	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки дипломної роботи	01.10.19 – 25.10.19	
3	Підготовка розділу «Спеціальна частина»	25.10.19 – 22.11.19	
4	Підготовка розділу «Обґрунтування економічної ефективності»	22.11.19 – 29.11.19	
5	Підготовка розділу «Охорона праці та безпека в надзв. ситуаціях»	30.11.19 – 05.12.19	
6	Підготовка розділу «Екологія»	05.12.19 – 10.12.19	
7	Складання переліку використаних літературних джерел	11.12.19 – 12.12.19	
8	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	12.12.19 – 14.12.19	
10	Отримання відгуку та рецензії на дипломну роботу, підготовка доповіді на захист	15.12.19 – 17.12.19	

Студент

(підпис)

Лижник В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Зінь М.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дана кваліфікаційна робота магістра містить: 133 сторінки, 32 рисунки, 14 таблиці, 38 формул.

Першочерговим завданням розвитку економіки України є зменшення енергоспоживання в промисловості та житлово- комунальній сфері за рахунок використання нових енергозберігаючих технологій. У зв'язку з цим потрібно приділяти велику увагу модернізації обладнання, що використовується в технологічних процесах нагріву робочої рідини.

Метою магістерської роботи є оцінка енергоефективності застосування теплогенеруючих агрегатів багатofункціонального призначення та створення на їх основі ресурсо- та енергозберігаючого обладнання.

Об'єктом дослідження є рециркуляційна гідравлічна система з гідродинамічним теплогенератором.

Предметом дослідження є процес дисипативного нагрівання рідини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі завдань застосовуються техніко-економічний аналіз, теоретична складова проведеного аналізу ґрунтується на застосуванні методів статистичного аналізу, обробка й узагальнення отриманих результатів здійснювалась за допомогою ПК і сучасного програмного забезпечення.

Ключові слова: ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИЙ АГРЕГАТ, РОБОЧИЙ ПРОЦЕС, ЕФЕКТИВНІСТЬ, БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ, ДИСИПАТИВНЕ НАГРІВАННЯ.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Лижник В.О.						
Перевір.		Зінь М.М.						
Консульт.		Зінь М.М.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		
Н. контр.		Коваль В.П.						
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1. Недоліки контактних методів нагрівання рідин	12
1.2. Порівняння існуючих методів електронагрівання рідин	14
1.3. Аналіз принципів роботи та базових конструктивних схем гідродинамічних теплогенераторів	19
1.4. Висновки до розділу 1	32
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	34
2.1. Поняття гідродинаміки вихрових потоків та етапи розвитку вихрових теплогенераторів	34
2.1.1. Основні поняття про вихрові генератори тепла.....	34
2.1.2. Механоактивація.....	37
2.2. Основні типи вихрових генераторів тепла та особливості їх конструкцій..	40
2.2.1. Основні групи та принцип роботи гідродинамічних генераторів тепла	40
2.2.2. Особливості конструкцій теплогенераторів	43
2.3. Кількісна оцінка ефективності дисипації механічної енергії рухомої рідини в круглому циліндричному каналі.....	47
2.3.1. Ламінарний стабілізований рух рідини	47
2.3.2. Турбулентний стабілізований рух рідини.....	48
2.3.3. Вплив шорсткості на ефективність дисипації механічної енергії рухомої рідини.....	56
2.4. Енергетична ефективність гідродинамічних вихрових теплогенераторів...	63
2.4.1. Критерії енергетичної ефективності.....	63

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лижник В.О.			ЗМІСТ	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Зінь М.М.						
Консульт.		Зінь М.М.						
Н. контр.		Коваль В.П.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

2.4.2. Енергетична ефективність застосування вихрових гідродинамічних теплогенераторів для систем теплопостачання	65
2.5. Оцінка енергоефективності застосування вихрових генераторів тепла в промисловості та житлово - комунальній сфері	69
2.5.1. Ефективність впровадження вихрових теплогенераторів для технологічного процесу пастеризації молока.....	69
2.5.2. Ефективність впровадження вихрових теплогенераторів для автономного опалення і гарячого водопостачання	75
2.6. Висновки до розділу 2	82
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	84
3.1. Опис типових програмних засобів використаних у магістерській роботі ...	84
3.1.1. Програма Word для Windows.....	84
3.1.2. Програма «AUTO CAD»	86
3.1.3. Програма «Mathcad».....	87
3.2. Алгоритми програми розрахунку корегувального коефіцієнту потужності на язиці програмування Microsoft Visual C 2008 Express Edition	89
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	95
4.1. Теоретичне обґрунтування понять «економічна ефективність та економічний ефект».....	95
4.2. Економічне обґрунтування інженерних рішень	97
4.3. Розрахунок економічної доцільності впровадження системи опалення будинку з використанням вихрових теплогенераторів	99
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	106
5.1. Забезпечення безпечних умов праці в напружених режимах роботи	106
5.2. Аналіз ризиків щодо охорони праці в умовах роботи вихрових генераторів тепла.....	109

5.3. Захист від шумів та вібрацій	110
5.4. Правила безпеки систем, що працюють під тиском.....	113
5.5. Електробезпека.....	116
5.6. Розрахунок стійкості роботи підприємств житлово - комунальної сфери в умовах надзвичайних ситуацій	117
РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ	121
6.1. Забруднення довкілля, яке виникає в результаті застосування теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення.....	121
6.2. Основні заходи по зменшенню забруднень	125
ВИСНОВКИ	127
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	129

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТЕЦ	теплоелектроцентрально
ВТГ	вихровий теплогенератор
ГВП	гаряче водопостачання
ККД	коефіцієнт корисної дії
ІТП	індивідуальний тепловий пункт
ЦТ	централізоване теплопостачання
ІЧ	інфрачервоний нагрівач
ВДП	ванна довгої пастеризації
ГДК	граничнодопустима концентрація
ОГД	об'єкти господарської діяльності

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ		
Розроб.		Лижник В.О.					
Перевір.		Зінь М.М.					
Консульт.		Зінь М.М.					
Н. контр.		Коваль В.П.					
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.			ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		

ВСТУП

Актуальність теми. Першочерговим завданням розвитку економіки України є зменшення енергоспоживання в промисловості за рахунок використання нових енергозберігаючих технологій [1-6]. У зв'язку з цим приділяють велику увагу модернізації обладнання, що використовується в технологічних процесах нагріву робочої рідини [7-12].

У спеціальних технологіях, пов'язаних з підвищенням температури рідких середовищ, у нафтовій, хімічній та харчовій промисловості у більшості випадків застосовують контактні методи нагріву, використовуючи при цьому конвективні поверхні теплообмінників або електричних нагрівачів. Однак застосування даних методів веде до появи на нагрівальних елементах шарів солей, накипу та пригару, які зумовлюють зниження якості кінцевої продукції, а також зменшення коефіцієнта корисної дії теплогенеруючої установки. В результаті чого для підтримування заданої температури необхідно збільшувати енергоспоживання, що може призвести до пошкодження нагрівальних елементів.

З метою запобігання передчасного виходу з ладу теплотехнологічного устаткування проводять періодичне хіміко-механічне очищення поверхонь від накипу, застосовуючи при цьому спеціальні хімічні речовини, що в свою чергу веде до збільшення витрат на технічне обслуговування і у повній мірі не може гарантувати усунення відкладень [7, 8].

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми може бути застосування об'ємного нагріву робочої рідини, що реалізується в гідродинамічних теплогенераторах. В основу роботи цих установок покладено принцип дисипації енергії рухомої рідини, який обумовлений тертям на обтічних поверхнях і супроводжується втратами кінетичної енергії потоку та підвищення

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Лижник В.О.						
Перевір.		Зінь М.М.						
Консульт.		Зінь М.М.						
Н. контр.		Коваль В.П.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

температури [13]. Теплові установки, що працюють за цим принципом, не мають конвективних поверхонь нагріву і дозволяють збільшувати температуру майже усіх рідин, у тому числі вибухонебезпечних та органічного походження.

Аналіз відомих робіт, присвячених вивченню дисипативного нагрівання, свідчить, що в науковій літературі присутні лише розрізнені важко порівнянні між собою результати теоретичних та експериментальних досліджень.

У зв'язку з цим актуальним є проведення комплексних досліджень дисипативного нагрівання рідин з метою поглиблення знань про фізичну сутність явища дисипації та вдосконалення даної технології.

Тому в дипломній роботі будуть розглянуті інноваційні пропозиції в галузі енергозбереження присвячені практичному вирішенню проблем на забезпечення комфортного теплозабезпечення житлових та промислових об'єктів. Сьогодні найбільш перспективною схемою теплопостачання житлових будинків і виробничих приміщень, а також подачі гарячої води є установки перетворення електричної енергії в теплову, при цьому коефіцієнт перетворення електричної енергії в тепло, можна довести до 90%. Але використання для нагрівання теплонагрівальних елементів має свої негативні сторони: по-перше, щоб збільшити електричну потужність (при невеликій напрузі мережі не вище 220 В) необхідно використовувати більші електричні струми (сотні тисяч ампер), що потребує дорогого електричного обладнання і спеціальних електрокабелів; по-друге, самі вони є дорогими пристроями, внаслідок використання в них спеціальних металів і керамік, а, крім того, при експлуатації вони сильно обкипають і швидко виходять з ладу.

Тому актуальною технічною задачею постає створення систем виробництва тепла і пари, основним елементом яких стали б уже виготовлені двигуни. Наявність спеціального технологічного обладнання для виробництва тепла, яке пристосоване до взаємодії з існуючими двигунами, дозволяє створити значні резервні потужності місцевого опалення. Така можливість досі слабо

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

освітлена в літературі й фахівцями з теплопостачання міст практично не враховується.

Основними процесами, що забезпечують можливість виробляти тепло в ефективних гідродинамічних агрегатах, є створення і експлуатація кавітаційних пухирців у рідині, що знаходиться у вихровому русі. Завдяки цьому виробництво тепла не потребує зовнішнього нагріву. Найбільш відомими з нових джерел тепла є такі, що розроблені на основі вихрових труб (труб Ранке) з рідким робочим тілом. Їх перевагами є висока ефективність, яка наблизилася до рівня теплових насосів. На водяному теплоносії досягнутий рівень ефективності вихрових теплогенераторів 190-300 %, на поліметилсилоксановій рідині ПМС-300 не менше 390 %. Недоліками вказаних систем є наявність іонізуючого випромінювання при їх роботі, відсутність можливості виробництва пари, досить складна конструкція. Перевагою систем є те, що вода не потребує спеціальної підготовки (хімічної очистки). Вироблення теплової енергії екологічно чисте і вибухопожежобезпечне. Нагрів відбувається протягом 1–2 год, в залежності від зовнішньої температури та об'єму приміщення, яке обігривається, не утворюється накип. Електроенергія витрачається лише на привід насосного агрегату із кавітаційним пристроєм, який прокачує воду, з високим коефіцієнтом перетворення електричної енергії в теплову.

Впровадження запропонованих вихрових теплогенераторів здатне ввести ситуацію реального використання енергоресурсів в контрольований стан; можливе зниження їх витрат, з покращенням якості опалення. Для досягнення 50-відсоткової економії необхідно наважитися на використання енергії, природа якої досі мало вивчена. Підвищення температури теплоносія в системі опалення, наприклад, з 50 до 60 °С підвищує робочу різницю температур між опалювальними елементами і приміщенням на третину і здатне збільшити відбір тепла з них не менше ніж на чверть.

Метою магістерської роботи є оцінка енергоефективності застосування теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення та створення на

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їх основі ресурсо - та енергозберігаючого обладнання.

Об'єктом дослідження є рециркуляційна гідравлічна система з гідродинамічним теплогенератором.

Предметом дослідження є процес дисипативного нагрівання рідини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі завдань застосовуються техніко-економічний аналіз, теоретична складова проведеного аналізу ґрунтується на застосуванні методів статистичного аналізу, обробка й узагальнення отриманих результатів здійснювалась за допомогою ПК і сучасного програмного забезпечення.

Особистий внесок автора - особистий внесок автора включає постановку мети і задач дослідження, обґрунтування принципів і методів їхнього проведення, якісний і кількісний аналіз результатів, їхня інтерпретація.

Апробація роботи. Лижник В.О. Ефективність застосування гідродинамічних теплогенераторів тепла в промисловості та житлово-комунальній сфері. // М.М. Зінь, В.О. Лижник // Збірник тез доповідей. Матеріали VIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 27 - 28 листопада 2019р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2019. – Т.3. С. 46.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Недоліки контактних методів нагрівання рідин

У сучасних умовах успішний розвиток економіки нашої країни в значній мірі залежить від вирішення питання з енергоносіями. Як відомо, Україна щорічно споживає близько 210 млн. т. у. п. паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) і відноситься до енерго- дефіцитних країн, оскільки покриває свої потреби в енергоспоживанні приблизно на 53% й імпортує 75% необхідного обсягу природного газу та 85% сирової нафти і нафтопродуктів [24]. Така структура ПЕР породжує залежність економіки України від країн-експортерів нафти і газу, і є загрозливою для її енергетичної безпеки [1]. При цьому, слід зауважити, що наш агропромисловий комплекс є надзвичайно енерговитратним, що обумовлює високу енергоємність внутрішнього валового продукту (ВВП), тобто високі питомі витрати ПЕР на одиницю виготовленої продукції. Цей показник в Україні, для деяких галузей, в десять разів вищий, ніж у розвинених європейських країнах та США [25].

За даними фахівців Інституту технічної теплофізики НАН України [3], очікувана економія енергоресурсів за рахунок розвитку сучасних інноваційних технологій складає в середньому близько 20%, а в ряді галузей може перевищити 70%. Насамперед, це стосується виробництв, в яких протягом багатьох років експлуатуються морально застарілі енергоємні технології та обладнання.

У зв'язку з цим, останнім часом, велику увагу приділяють модернізації обладнання, що використовується в технологічних процесах підвищення

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лижник В.О..			РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД				Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Зінь М.М.									
Консульт.		Зінь М.М.									
Н. контр.		Коваль В.П.									
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.									
ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61											

температури робочої рідини [26]. Традиційно нагрівання рідких технологічних потоків здійснюється контактними методами через конвективні поверхні електричних елементів опору, теплообмінників вогняних підігрівачів, печей, котлів та іншого теплоенергетичного устаткування. Однак, дуже часто технологічні потоки, температура яких підвищується, несуть у собі домішки, які при нагріванні відкладаються на контактних поверхнях [11]. До таких домішок належать механічні частки, розчинні мінеральні солі, органічні речовини та ін. Вони утворюють на конвективних поверхнях нагріву технологічних апаратів шари солей, накипу та пригару, що важко видаляються.

Поява і ріст товщини негативних відкладень на поверхні нагрівачів створює підвищений термічний опір теплопередачі та призводить до перевитрати палива, ціна якого з кожним роком збільшується [27]. Так згідно з [28] при товщині накипу в 1 мм перевитрата палива може складати $5 \div 20\%$, а це для одного котла ДКВР-4/13 еквівалентно $16 \div 65$ тис. грн. збитків лише за один опалювальний сезон.

У відповідності з довідковими даними [29] утворення накипу в 1 мм знижує ККД котлоагрегату на 2%. З часом значення ККД може знизитись на 50% і більше [30]. В деяких випадках накип призводить до прогару труб в котлах, що стає причиною повної заміни котельного обладнання [31].

В харчовій промисловості, під час пастеризації молочних продуктів, фруктових соків, вин та ін., у результаті безпосереднього контакту з поверхнею високотемпературного нагрівального елементу відбувається пригорання продукту, що знижує його смакові якості [32].

Для видалення утворених в різних технологічних процесах відкладень проводять періодичне механічне та хімічне очищення, застосовуючи при цьому луги, кислоти та спеціальні багатокомпонентні розчини, на основі поверхнево-активних речовин (ПАР), що в свою чергу веде до збільшення витрат на технічне обслуговування і у повній мірі не може гарантувати

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усунення відкладень, оскільки під час механічної очистки відбувається утворення подряпин, що в подальшому будуть виконувати функцію центрів кристалізації солей або центрів утворення пригару органічних речовин [10].

У зв'язку з цим розробка установок безконвективних поверхонь нагріву для підвищення температури рідких середовищ є актуальною задачею.

1.2. Порівняння існуючих методів електронагрівання рідин

На сьогоднішній день усі існуючі методи електронагрівання рідких технологічних потоків можна розділити на дві групи: поверхневого та об'ємного нагрівання [10] (рис. 1.1).

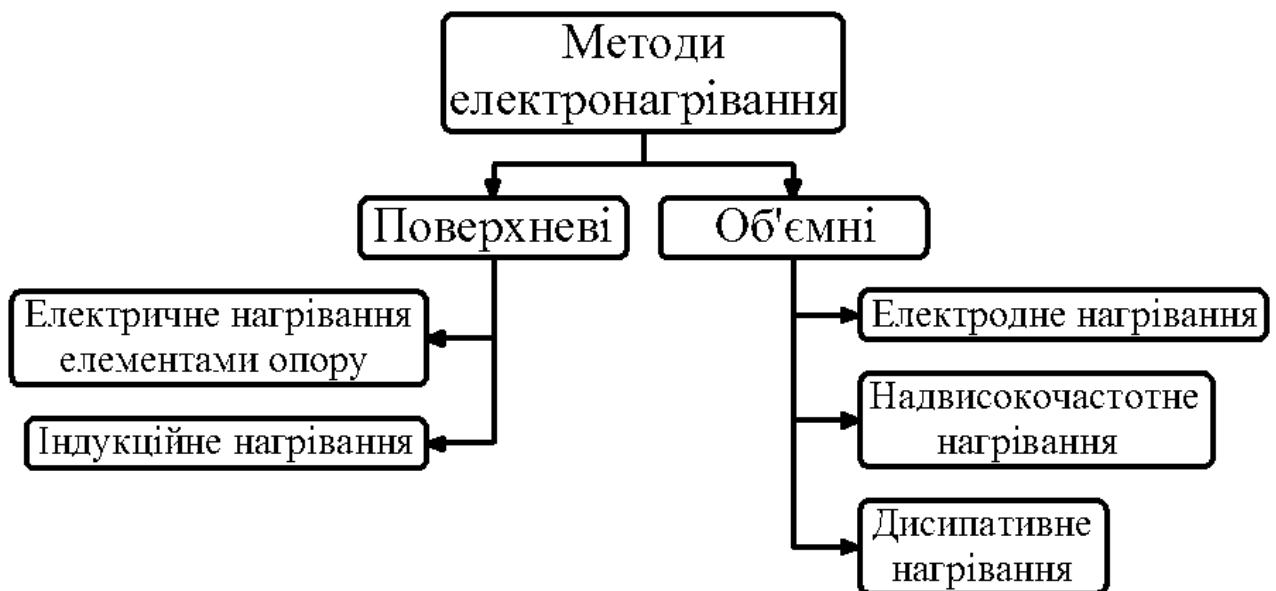


Рис. 1.1. Класифікація методів електронагрівання рідких технологічних середовищ

У першу групу входять теплотехнологічні установки, в яких теплообмін здійснюється через конвективні поверхні електричних нагрівальних елементів опору та індукційних нагрівачів. До складу другої групи входять електродні, надвисокочастотні нагрівачі та дисипативні (або гідродинамічні) теплогенератори (ТГА).

Електричні нагрівальні елементи опору, зокрема трубчасті електричні нагрівачі (ТЕНи), добре зарекомендували себе в технологічних процесах підвищення температури рідких середовищ у хімічній, харчовій та нафтовій промисловості. Принцип дії даних приладів ґрунтується на перетворенні електричної енергії в теплову за законом Джоуля-Ленца:

$$q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \quad (1)$$

.1)

де I – сила струму; R – електричний опір елемента; τ – час.

Широке використання електронагрівачів опору обумовлено компактністю, простотою експлуатації, відсутністю рухомих механізмів та шуму.

На сьогоднішній день, за інформацією виробників, максимальна електрична потужність та ККД окремої теплотехнологічної установки з електричними нагрівальними елементами опору складає відповідно 120 кВт та 93%.

До недоліків даного методу нагрівання слід віднести необхідність використання насосів для циркуляції робочої рідини, а також утворення в процесі експлуатації на поверхні електронагрівача шарів накипу та пригару, що суттєво знижує ККД установки і може призвести до перегрівання елемента опору і виходу його з ладу [25].

Метод індукційного електронагрівання заснований на тепловій дії індукційного струму, що збуджується в металі нагрівального елемента змінним електромагнітним полем.

З електротехнічної точки зору, індукційний електронагрівач являє собою трансформатор, що складається з первинної обмотки (індуктора) та спеціальної вторинної обмотки, виконаної у вигляді трубопроводу з примусовою циркуляцією рідини. При цьому нагрітий метал трубопроводу за рахунок тепловіддачі передає теплоту потоку рідкого середовища [36].

За твердженням виробників, ККД індукційних нагрівачів складає

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приблизно 98%, а максимальна електрична потужність становить 750 кВт. До переваг можна віднести той факт, що установки не мають рухомих деталей і працюють на електричному струмі промислової частоти, тобто не потрібні додаткові високочастотні генератори [37].

Недоліки, властиві індукційним нагрівачам, аналогічні до недоліків електричних нагрівальних елементів опору.

В електродних нагрівачах підвищення температури рідини забезпечується рухом іонів між електродами, до яких підведена змінна напруга. Кількість виділеної при цьому теплової енергії можна встановити за формулою (1.1), в якій позначення R , у даному випадку, буде визначати електричний опір рідини, що нагрівається [35].

Конструктивно електродний нагрівач являє собою ємність, заповнену рідиною, з розміщеними в ній електродами. Рідина одночасно виконує функції теплоносія і елемента електричного кола, тому повинна мати як електричну провідність (для протікання електричного струму), так і електричний опір (для запобігання короткого замикання). Згідно з [38], оптимальне значення питомого електричного опору рідини коливається в межах $15 \div 17 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

За даними фірм-виробників електродних нагрівачів максимальна електрична потужність та ККД установок становить відповідно 100 кВт та 97%.

Попит на дане обладнання на ринку теплотехнологічних установок, в першу чергу для роботи в системах опалення та гарячого водопостачання, забезпечується надзвичайною компактністю, простотою експлуатації, відсутністю шуму та рухомих деталей. Завдяки об'ємному нагріванню рідини на поверхні електродів не утворюється накип, що підвищує термін експлуатації установок [35, 39].

До недоліків слід віднести необхідність використання циркуляційних насосів та наявність вимог до фізичних властивостей рідин, температура яких підвищується, що звужує сферу застосування електродних нагрівачів.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В основі методу високочастотного (НВЧ) нагрівання лежить властивість електромагнітного поля достатньо глибоко проникати в діелектричні речовини, викликаючи при цьому їх електричну поляризацію, напрям якої змінюється з частотою електромагнітного поля. Високочастотна зміна напрямку поляризації пов'язана з необхідністю долати сили тертя між молекулами, що, в свою чергу, супроводжується розсіюванням в речовині енергії та її нагріванням [40].

Максимальна електрична потужність блоків НВЧ термічних установок становить 100 кВт при ККД 80%.

Перевага НВЧ нагрівання полягає в можливості отримання відносно рівномірного розподілу температури по всьому об'єму тіла за рахунок раціонального підбору частоти електромагнітних коливань та геометричних розмірів реакторів, в яких проходить перетворення НВЧ енергії на теплову. Слід також відмітити теплову безінерційність процесу, високу швидкість підвищення температури та відсутність рухомих механізмів.

До недоліків можна віднести необхідність застосування насосів для циркуляції рідини через реактор; наявність специфічного обладнання (джерела НВЧ-енергії, реактора і фідерної системи зі збуджувачем) та його високу вартість. Виходячи з цього, сфера застосування НВЧ техніки може бути обумовлена неефективністю традиційних термічних установок [41].

У ТГА для нагрівання рідин використовується явище дисипації (розсіювання) кінетичної енергії потоку, яка повністю перетворюється у внутрішню енергію, викликаючи підвищення температури рідкого середовища. При цьому, якщо в'язкість та швидкість рідини мають великі значення, то нагрівання буде суттєвим [13].

За даними виробників величина максимальної електричної потужності та величина ККД гідродинамічних теплогенераторів відповідають показникам 250 кВт та 93% [7].

Застосування гідродинамічних установок в системах нагрівання рідких

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічних середовищ обумовлено можливістю підвищувати температуру будь-яких рідин; відсутністю утворення накипу та пригару органічних речовин внаслідок об'ємного нагрівання рухомої рідини; поєднанням ефекту нагрівання та перекачування рідини в одній технологічній установці.

Теплові генератори, що працюють за принципом дисипативного нагрівання знаходять застосування в автономних системах водо- та теплопостачання [1, 7, 8]; в системах нагрівання та пастеризації рідких харчових продуктів [1, 10, 12, 22]; в системах підігріву хімічних розчинів та нафтопродуктів [11, 13] області застосування теплових генераторів показано на рис.1.2

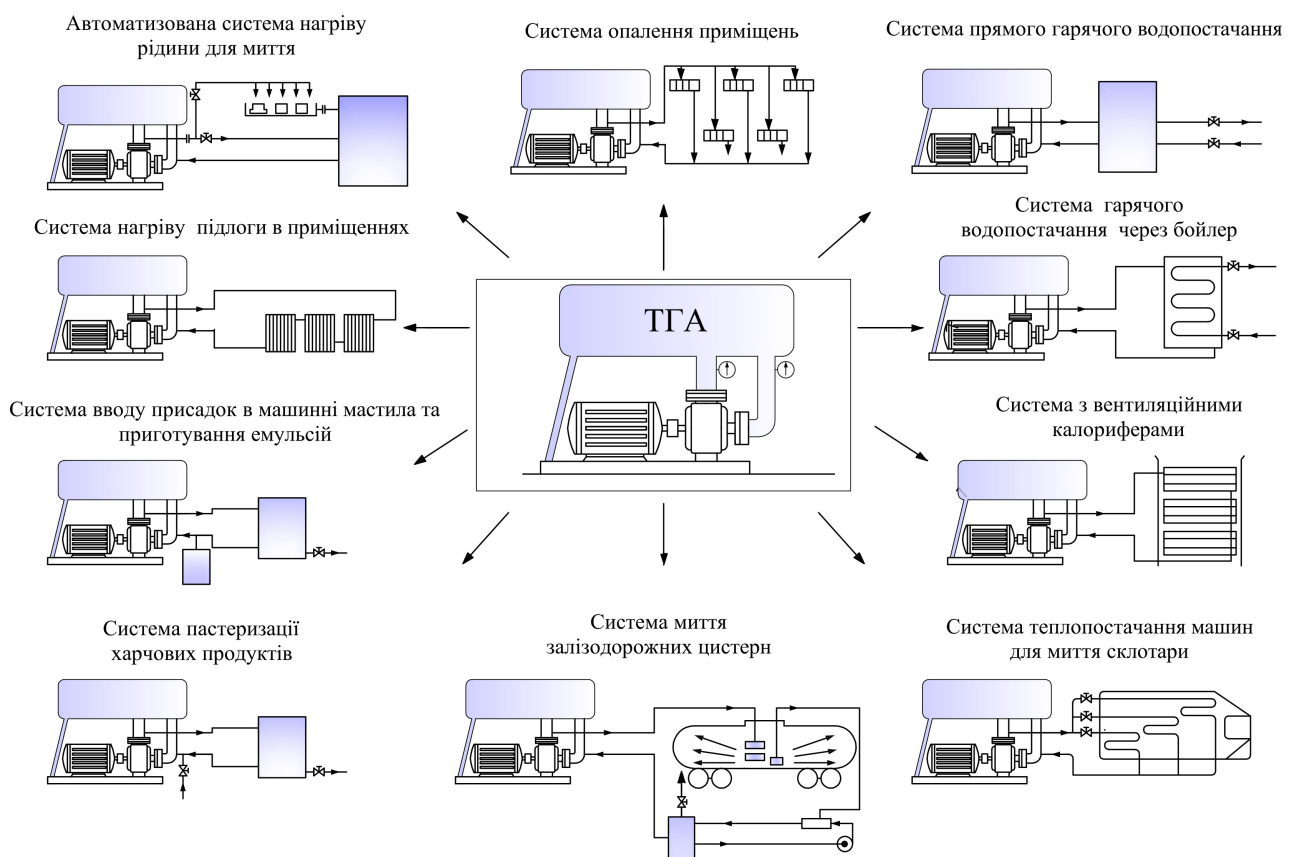


Рис. 1.2. Основні області застосування гідродинамічних теплогенераторів

В майбутньому гідродинамічні теплогенератори можуть скласти конкуренцію системам централізованого теплопостачання, тому що відрізняються більш високими показниками ефективності, меншою величиною

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втрата тепла при транспортуванні, меншими капітальними і експлуатаційними витратами. ТГА досить ефективні в умовах тимчасового проживання людей, в районах з обмеженими запасами палива.

Однак у порівнянні з іншими методами електронагрівання установкам даного типу властиві такі недоліки, як наявність рухомих деталей та шуму.

1.3. Аналіз принципів роботи та базових конструктивних схем гідродинамічних теплогенераторів

Згідно другого постулату термодинаміки [42], ентропія закритої адіабатичної системи – функція, що з часом не зменшується. Оскільки реальні процеси незворотні і супроводжуються втратами механічної енергії, то можна стверджувати, що всі процеси в закритій системі призводять до збільшення її ентропії [34].

У загальному випадку втрати механічної енергії рухомої рідини обумовлені наявністю в'язкого тертя між шарами рідкого середовища та на стінках каналів, а також деформацією потоку, що спричинена місцевими змінами форми і розмірів гідравлічного тракту [43, 44].

Для нестисливої рідини згідно першого постулату термодинаміки можна записати [45]:

$$T \cdot \frac{ds}{d\tau} = \frac{du_B}{d\tau}, \quad (1.2)$$

де T – абсолютна температура; s – питома ентропія; u_B – питома внутрішня енергія; τ – час.

Для розрахунку перетворень одних видів енергії в інші при русі суцільних середовищ використовують рівняння балансу енергії [45]:

$$\rho \cdot \frac{du_B}{d\tau} = \rho \cdot q - N, \quad (1.3)$$

де ρ – густина середовища; q – питома кількість енергії, що підведена ззовні в одиницю часу до даної точки середовища; N – віднесена до одиниці

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єму потужність внутрішніх сил.

Підставляючи (1.3) в рівняння (1.2), отримаємо:

$$\rho \cdot T \cdot \frac{ds}{d\tau} = \rho \cdot q - N. \quad (1.4)$$

Аналізуючи рівняння (1.4), можна зробити висновок, що зміна ентропії в потоці нестисливої в'язкої рідини відбувається з двох причин: за рахунок підведення тепла $\rho \cdot q$ ззовні та за рахунок втрат потужності внутрішніх сил ($-N$).

У випадку адіабатичного потоку нестисливої в'язкої рідини вся потужність ($-N$) за рахунок дисипації незворотно переходить у теплоту. Цим і обумовлюється позитивний приріст питомої ентропії потоку [45].

Явище дисипації механічної енергії полягає в тому, що приведена в рух в'язка рідина розсіює надану їй енергію до тих пір, поки не прийде в стан спокою. При цьому дисипація механічної енергії деякого об'єму рідини, буде проходити не тільки в самому об'ємі, а почне поступово поширюватись по всій області, що зайнята потоком, і перерозподілятися в ній. Це розповсюдження енергії відбувається за рахунок двох процесів: конвекції та дифузії [43].

Вперше явище дисипативного нагрівання було використано більше ста років тому англійським фізиком Джоулем в установці для визначення теплового еквіваленту роботи [13, 42].

Сучасні машини для реалізації дисипативного нагрівання, на відміну від установки Джоуля, оснащені електронасосом, пристроєм для нагрівання та резервуаром. Працюють вони в режимі багаторазової циркуляції рідкого середовища по контуру насос – пристрій для нагрівання – резервуар – насос (рис. 1.3).

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

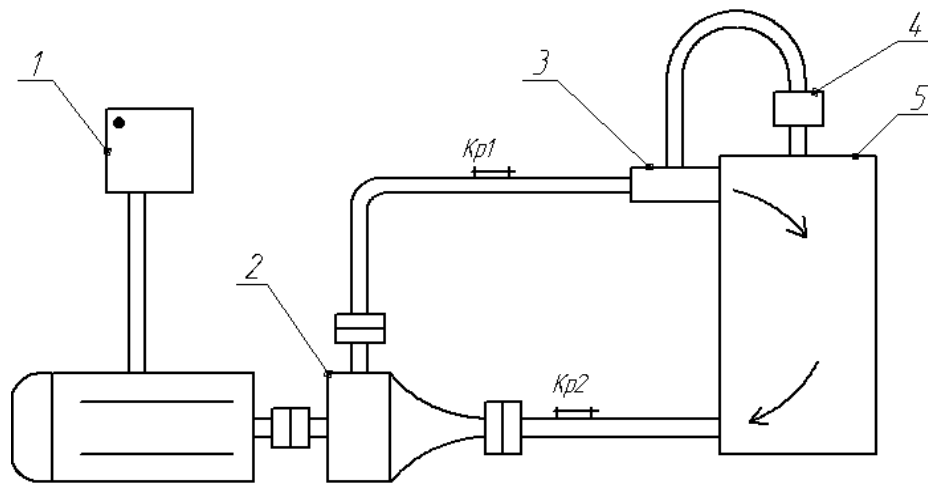


Рис. 1.3. Конструктивна схема гідродинамічного теплогенератора [1]: 1 – теплова автоматика; 2 – електронасос; 3 – пристрій для нагрівання; 4 – система поглинання шуму; 5 – резервуар.

Всі гідродинамічні теплогенератори, незважаючи на різноманіття їх конструкцій, відрізняються двома загальними особливостями.

По-перше, як робоче тіло в них використовується тільки рідина, переважно - вода. По-друге, вода піддається спеціальній механічній обробці - механоактивації.

Сьогодні існує велика кількість перетворювачів рідини, а їх конструкції настільки різноманітні й неоднорідні, що не піддаються змістовній систематизації.

Проте, при загальному підході, у всьому різноманітті конструкторських рішень можна виділити три основні відмінні між собою групи теплогенераторів:

- пасивні тангенціальні;
- пасивні аксіальні;
- активні.

До пасивних відносяться теплогенератори статичного типу, які не мають рухомих частин в елементах формування потоку рідини. Механічна активація робочого тіла в цих генераторах відбувається в процесі і в результаті взаємодії рідини, що рухається, з нерухомими елементами робочої камери, виконаними і

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташованими таким чином, щоб найбільш ефективно формувати потік з різко вираженою нелінійністю просторового розподілу миттєвих швидкостей рідини як по величині, так і по напрямку.

Принцип роботи пасивного теплогенератора значною мірою визначається способом введення потоку рідини в його робочу камеру - тангенціальним або аксіальним, тому генератори цього типу доцільно розділити на дві підгрупи: з тангенціальним і з аксіальним введеннями потоку.

В пасивних аксіальних вихрових теплогенераторах використовуються різні діафрагми із циліндричними, конічними, щелевидними або спіральними отворами, з одним і більше отворами, з аксіальним або зміщеним отворами, з однієї або декількома послідовно встановленими перегородками і т.п.

Застосовуються і теплогенератори змішаного типу в яких для підвищення ефективності роботи одночасно використовуються як завитки, так і діафрагми.

До активних відносяться теплогенератори динамічного типу, в яких механічна активація робочого тіла відбувається в результаті впливу на рідину рухомих елементів генератора. Спосіб введення потоку рідини в робочу камеру активного теплогенератора не має принципового значення.

Одними з установок, що працюють за цією схемою, є гідродинамічні нагрівачі марки ТЕК, які серійно виготовляються науково-виробничим підприємством «Текмаш» (м. Херсон). У якості пристрою для нагрівання в теплогенераторах ТЕК використовуються спеціальні насадки-змішувача, схема якої представлена на рис. 1.4 [46].

На думку фахівців фірми, фізична сутність процесу нагрівання рідкого середовища полягає в наступному – потік рідини, що потрібно нагріти, розганяється насосом і направляється в спеціальну насадку - змішувач, де його швидкість значно підвищується, а тиск падає. Одночасно через сопла, розташовані в стінках насадки, в основний потік з великою швидкістю направляються струмені тієї ж або іншої підмішуваної рідини.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

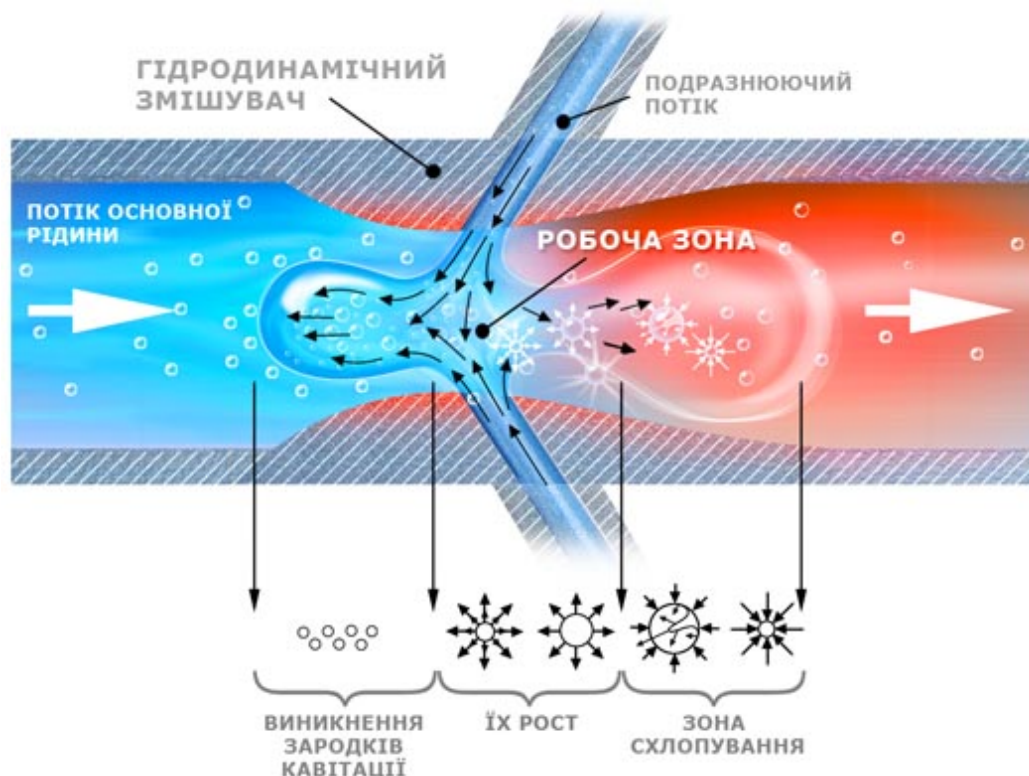


Рис. 1.4. Схема роботи гідродинамічної установки фірми « ТЕКМАШ »

У результаті зіткнення потоків в рідині виникають значні напруження, що в умовах зниженого тиску призводять до холодного закипання рідини (так званий ефект кавітації). При цьому в зоні зіткнення виникають центри пароутворення у вигляді кавітаційних мікропухирців, що несуться потоком рідини і ростуть до розмірів в кілька міліметрів. Потрапляючи в зону розширення потоку, де його тиск зростає, пухирці починають зменшуватися в розмірах і схлопуються. Внаслідок цього в рідині виникають імпульси тиску, які призводять до її нагрівання [46].

У залежності від електричної потужності, що споживається, гідродинамічні теплогенератори ТЕК представлені чотирма базовими моделями, технічні характеристики та загальний вигляд яких наведені в табл. 1.1 та на рис. 1.5 відповідно.

Застосування гідродинамічних теплогенераторів ТЕК у системах нагрівання рідких технологічних середовищ, за даними [46], дозволяє підвищувати температуру робочих рідин до 115 °С.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1

Технічні характеристики гідродинамічних теплогенераторів ТЕК

Параметр	ТЕК -1	ТЕК -2	ТЕК -3	ТЕК -4
Потужність двигуна, кВт	7,5	15	22	45
Опалювальний об'єм, м ³	до 450	900	1350	2700
Теплова продуктивність, Ккал/годину	5600	12000	17600	36000
Об'єм нагрітої води за годину до T = 40 °C, м ³	0,14	0,22	0,44	0,9
Габаритні розміри, мм	1300×535×450	1600×550×600	1650×610×600	1700×620×750
Маса, кг	250	300	400	500



 **TEKMASH**
GROUP

Рис. 1.5. Загальний вигляд гідродинамічного теплогенератора ТЕК [46]

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У конструкції теплогенераторів марки ТМГ, що виготовляються ТОВ «Термовихор» спільно з ВАТ Завод «Коммаш» (м. Пенза), функцію пристрою для нагрівання виконує так званий вихровий енергоперетворювач [47], схема якого представлена на рис. 1.6.

Функціонально принцип роботи вихрового енергоперетворювача схожий з принципом роботи відомої вихрової труби Ранка-Хілша [48], з тією лише різницею, що в установках ТМГ замість газів використовуються рідини, зокрема водопровідна вода, і не відбувається розділення обертowego потоку на холодний і гарячий [49].

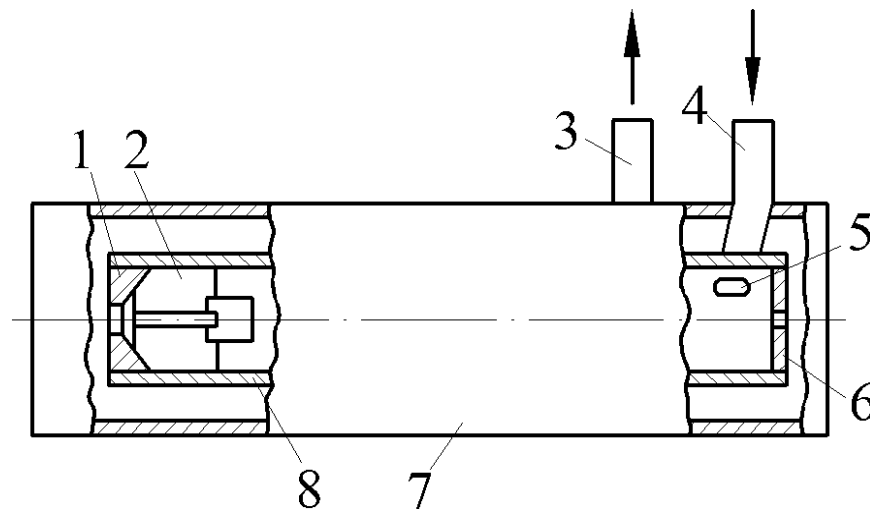


Рис. 1.6. Схема будови вихрового енергоперетворювача: 1 – дросель; 2 – гальмівний пристрій; 3 – вихідний патрубок; 4 – вхідний патрубок; 5 – тангенційний отвір; 6 – діафрагма з центральним отвором; 7 – теплообмінна обойма; 8 – циліндричний корпус.

На думку фахівців, які створили установку, її робота базується на перетворенні енергії вихрового руху рідини на теплову. При цьому багаторазова циркуляція замкненого об'єму рідини по контуру «насос – вихрова труба – насос» дозволяє підвищити температуру до $120 \div 150$ °С [47].

На сьогоднішній день освоєно виробництво модельного ряду гідродинамічних теплогенераторів, електрична потужність яких складає від 3 до 37 кВт (табл. 1.2). Загальний вигляд теплогенератора марки ТМГ потужністю більше 15 кВт наведено на рис. 1.7.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2

Технічні характеристики теплогенераторів ТМГ

Технічні характеристики	Модель теплогенератора					
	ТМГ-3	ТМГ-5,5	ТМГ-7,5	ТМГ-11	ТМГ-15	ТМГ-37
Потужність електричного двигуна, (кВт)	3	5,5	7,5	11	15	37
Теплова продуктивність, (кДж/г)	9713	17836	24283	36006	48567	119742
ККД, (%)	90	90	90	90	90	90



Рис. 1.7. Загальний вигляд теплогенератора марки ТМГ потужністю більше 15 кВт.

Іншою модифікацією дисипативних нагрівачів є роторні теплогенератори марки ТС1, які виготовляються ТОВ «Екоенергія» (м. Москва). В даних установках пристрій для нагрівання і насос суміщені в один конструктивний вузол, названий авторами розробки дисковим активатором. Загальний вигляд гідродинамічного теплогенератора моделі ТС1 потужністю 75 кВт представлений на рис. 1.8.

Для підвищення температури рідких середовищ в установках ТС1 використовується енергія, що генерується в результаті в'язкісного тертя між рухомими шарами рідини та на стінках каналів. При цьому оскільки кількість теплоти, яка виділяється в процесі механічного тертя, пропорційна швидкості руху поверхні, то для збільшення величини нагрівання в конструкції

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплогенератора реалізовано примусовий розгін рідини в поперечному перерізі каналу за допомогою спеціальних дисків, що обертаються.



Рис. 1.8. Загальний вигляд гідродинамічного теплогенератора марки TC1-075

Поряд з молекулярним тертям, яке обумовлено молекулярною в'язкістю рідини, в установках TC1 додатково використовується явище турбулентного тертя, яке характерне для турбулентних потоків.

Разом з цим, на думку фахівців фірми, основну роль в нагріванні рідини в установках TC1 відіграє явище кавітації, яке виникає в турбулентному потоці. При цьому використання тертя та явища кавітації дозволяє підвищувати температуру рідин до 95 °С.

Теплові установки марки TC1 представлені, в залежності від потужності електродвигуна, модельним рядом, технічні характеристики яких наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики теплогенераторів марки TC1

Технічні характеристики	Модель теплогенератора						
	TC1-055	TC1-075	TC1-090	TC1-110	TC1-160	TC1-200	TC1-250
1	2	3	4	5	6	7	8
Потужність електричного двигуна, (кВт)	55	75	90	110	160	200	250

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Теплова продуктивність, (кДж/г)	184140	251100	301320	368280	535680	669600	837000
ККД, (%)	93	93	93	93	93	93	93
Маса, (кг)	700	920	1295	1350	1715	2395	2455

Ще один принцип перетворення енергії рідини в тепло реалізований в теплогенераторах «Термер» див. рис. 1.9.

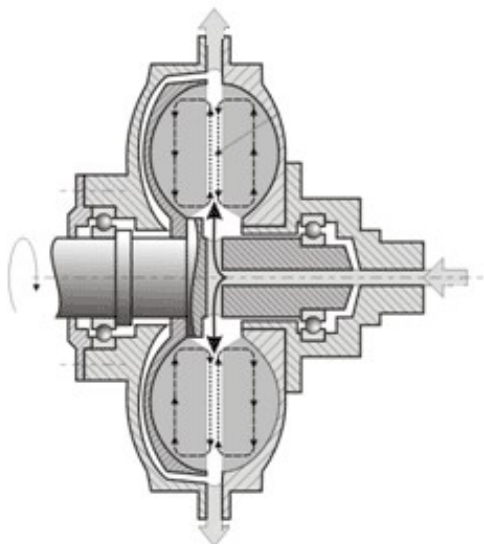


Рис. 1.9. Принципова схема і принцип роботи теплогенератора «Термер» (м. Київ)

Таблиця 1.4.

Основні технічні характеристики теплогенераторів «Термер»

Параметр	УГД -55	УГД -75	УГД -90	УГД -110
Встановлена потужність, кВт	55	75	90	110
Опалювальний об'єм, м ³	5180	7063	8450	10200
Теплова продуктивність, Гкал/годину	0,045	0,063	0,074	0,090
Градiєнт тиску, МПа	0,15...0,2			
Габаритні розміри, мм	1405×1400×861			2400×980×1500
Маса, кг	1000	1245	1295	1825

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи теплогенератора «Термер» можна описати наступним чином: енергія обертання електродвигуна передається на активатор, який має радіальні лопаті. Рідина в середині активатора розкручується отримуючи запас кінетичної енергії і при гальмуванні її на нерухомих лопатях корпусу перетворюється в тепло. В даному випадку кінетична енергія потоків рідини при миттєвих зупинках і в наслідок внутрішнього тертя і кавітації перетворюється в теплову енергію.

Аналогічний принцип дії мають кавітаційні роторні генератори «БРАВО».

Принципово новий роторний теплогенератор з ротором активатором-турбіною показаний на рис. 1.10 його робочі камери розташовані перед першим ротором, який є активною гідротурбіною.

Другий ротор виконаний в вигляді реактивної гідротурбіни. Ротори обертаються в протилежні сторони. Конструкцією передбачено саморегулювання енергообміну роторів з робочим тілом, це забезпечує більшу амплітуду і ширший частотний спектр коливань, і більшу ефективність кавітації при малому гідравлічному опорі.

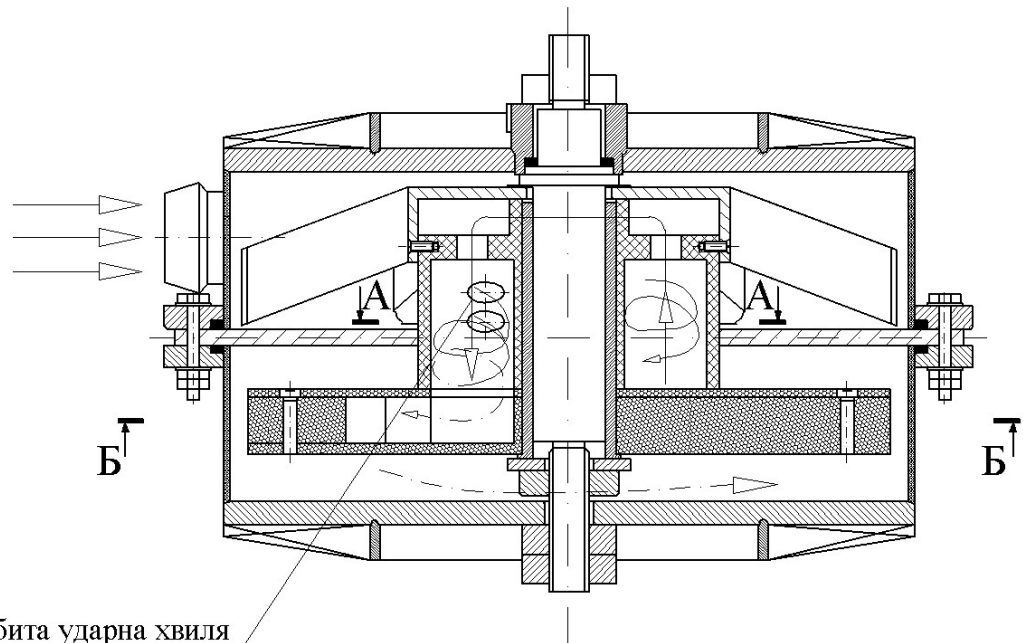


Рис. 1.10. Принципова схема роботи теплогенератора з ротором активатором - турбіною

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процес роботи такого теплогенератора наступний: речовина прокачується насосом через патрубок в середину корпусу попадаючи в завихрувачі шести робочих камер. В камерах речовина розділяється на окремі закручені потоки, що мають різкі пульсації тиску. В результаті утворюються численні кавітаційні бульбашки, схлопування яких приводить до генерування ультразвукових коливань які викликають вторинну кавітацію (лавинний процес із позитивним зворотним зв'язком). Виділення тепла відбувається в турбулентних потоках за рахунок розсіювання енергії на місцевих гідравлічних зв'язках.

Таблиця 1.5.

Основні технічні характеристики гідродинамічних теплогенераторів
« БРАВО »

Параметр	Браво – Т22	Браво – Т22	Браво – Т22
Номінальна потужність двигуна, кВт	22	37	45
Частота обертів двигуна, об/хв.	2900		
Теплова продуктивність, кВт	19	32	39
ККД, %	87		
Температура теплоносія, °С	95		
Об'єм прокачув. теплоносія, м³/год.	100	80	100
Габаритні розміри, мм	1440×410×630		
Маса теплогенератора, кг	398	501	618

За інформацією підприємств-виробників [1, 7-10, 46, 47] гідродинамічні теплогенератори марок ТЕК, ТМГ та ТС1 мають наступні позитивні якості:

- відсутність конвективних поверхонь нагрівання;
- можливість підвищувати температуру практично будь-яких рідин;
- рівномірний розподіл температури;
- значення ККД складає не менше 90% і залишається незмінним протягом всього періоду експлуатації;
- відсутність циркуляційних насосів, оскільки робочий електронасос забезпечує також і прокачування рідин по системі;

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість використання в пожежо- та вибухонебезпечному оточуючому середовищі, оскільки електрична енергія подається тільки на електродвигун;
- застосування незамерзаючих рідин допускає експлуатацію установки при від'ємних температурах повітря;
- можливість використання двигунів внутрішнього згорання в якості приводу насосів;
- підвищений ступінь експлуатаційної готовності, що дозволяє ввести установку в дію за один робочий день;
- можливість оптимізації роботи системи нагрівання завдяки застосуванню автоматичного керування процесом;
- обладнання екологічно чисте, не забруднює навколишнє середовище і не виділяє шкідливих речовин в атмосферу.

Перераховані позитивні якості зумовлюють використання гідродинамічних установок у системах опалення і гарячого водопостачання; в технологіях пастеризації рідких харчових продуктів; в системах нагрівання хімічних розчинів, технічних рідин та нафтопродуктів.

На сьогоднішній день існують й інші моделі теплогенераторів, виробництво яких налагоджено в Україні, Росії, Білорусії, Молдові та Словаччині [13].

Нагрівання рідких технологічних середовищ в описаних гідродинамічних теплогенераторах можна звести до наступних:

- імпульси тиску, що виникають внаслідок конденсації кавітаційних бульбашок [46];
- вихровий рух рідини в пристрої для нагрівання виконаному у вигляді вихрової труби [47];
- дія кавітації разом із в'язким тертям, при чому кавітація розглядається як головний чинник.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже створення в потоці рідини збурень у вигляді гідравлічних пульсацій визначеної амплітуди та частоти, можна розглядати в якості способу інтенсифікації дисипативного нагрівання рідкого середовища в гідросистемі. Тому дослідження спрямовані на вивчення впливу пульсуючого потоку на приріст температури рідини є актуальними

Аналіз актуальності проблемної ситуації, що полягає у виникненні потреби підвищення енергоефективності застосування теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення та створення на їх основі ресурсо- та енергозберігаючого обладнання, дозволили визначити протиріччя в науці та практиці і сформулювати задачі до проектування.

Задачі проектування. Виконання завдання та досягнення поставленої мети ґрунтується на розв'язанні наступних задач:

1. Аналізу та систематизації схем роботи гідродинамічних теплогенераторів.
2. Визначення впливу конструктивних та технологічних характеристик теплогенераторів на процес дисипативного нагрівання рідин.
3. Оцінки енергетичних характеристик та параметрів режимів роботи промислових гідродинамічних теплогенераторів.
4. Удосконалення конструкцій та вибору технологічних режимів роботи гідродинамічних теплогенераторів.

1.4. Висновки до розділу 1

На підставі проведеного аналізу у розділі 1 зроблені наступні висновки:

1. Відмінна риса об'ємних методів нагрівання перед контактними полягає у відсутності негативних відкладень (накипу та пригару), що є беззаперечною перевагою, особливо в технологіях, в яких важлива якість виготовленої продукції (пастеризація, підвищення температури хімічних розчинів, технічних рідин та нафтопродуктів).

Додатковою перевагою є той факт, що внаслідок відсутності накипу та

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пригару значення ККД установок об'ємного нагрівання фактично залишається незмінним, оскільки в контактних установках даний показник енергоефективності зменшується по мірі зростання товщини відкладення.

Однак при цьому слід відмітити, що вартість об'ємних нагрівачів, таких як НВЧ установки та гідродинамічні теплогенератори, суттєво відрізняється від вартості установок з електричними нагрівальними елементами опору, що, відповідно, необхідно враховувати в техніко-економічному обґрунтуванні при виборі обладнання.

2. Серед установок об'ємного нагрівання, внаслідок наявності вимог до величини питомого електричного опору рідини, обмежену сферу використання мають електродні нагрівачі. Найчастіше їх використовують у системах опалення та гарячого водопостачання віддалених від центральних теплових мереж і газопроводів селищ.

Застосування специфічного обладнання, його висока вартість, великі енергетичні затрати стримує широке використання НВЧ енергії в промисловості.

Отже, перераховані фактори окреслюють можливу сферу застосування гідродинамічних теплогенераторів. Дана сфера охоплює спеціальні технології, пов'язані з підвищенням температури рідких середовищ в нафтовій, хімічній та харчовій промисловості. В окремих випадках гідродинамічні установки дисипативного нагрівання можуть працювати в якості автономних джерел теплової енергії в системах гарячого водо- і теплопостачання.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Поняття гідродинаміки вихрових потоків та етапи розвитку вихрових теплогенераторів

2.1.1. Основні поняття про вихрові генератори тепла

В кінці 20-х років XX століття французький інженер Ж. Ранке, працюючи над вдосконаленням циклонів для очищення газів від пилу помітив, що струмінь газу, який виходить з центру циклону має більш низьку температуру ніж газ, який подається в циклон.

В 1931 році Ж. Ранке подає заявку на винахід, який він назвав «вихрова труба», але отримав патент він тільки в 1934 році, і то не на батьківщині, а в Америці.

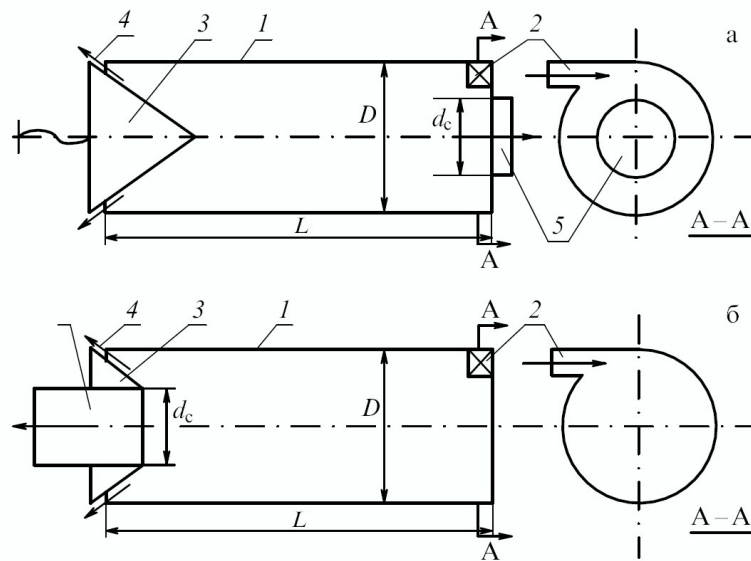
Французькі вчені з недовірою віднесли до цього винаходу, бо він суперечив законам термодинаміки, і висміяли доповідь Ж. Ранке на засіданні Французького фізичного товариства, яку він зробив в 1933 р.

Більше 20-ти років відкриття Ж. Ранке ігнорувалося. І лише в 1946 р. німецький фізик Р. Хілш опублікував роботу про експериментальні дослідження вихрової труби, в якій дав рекомендації для конструювання таких пристроїв.

У вихровій трубі Ранке, схема якої наведена на рис. 2.1, циліндрична труба 1 приєднана одним кінцем до завитка 2, що закінчується прямокутним соплом, яке забезпечує подачу стисненого робочого газу в трубу по дотичній до її внутрішньої поверхні. З іншого торця завиток закритий діафрагмою 5 з отвором в центрі, діаметр якого істотно менше внутрішнього діаметра труби 1.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лижник В.О.			РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА				Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Зінь М.М.									
Консульт.		Зінь М.М.							ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		
Н. контр.		Коваль В.П.									
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.									

Через цей отвір з труби 1 виходить холодний потік газу, що розділяється при вихровому русі в трубі 1 на холодну (центральну) і гарячу (периферійну) частини.



1 – гладка циліндрична труба; 2 – завиток для подачі стисненого газу; 3 – дросельний кран (вентиль); 4 – вихід гарячого газу; 5 – діафрагма для виходу холодного газу.

а) труба протипотокового типу;

б) труба прямопотокового типу.

Рис. 2.1. Принципова схема вихрової труби Ранке - Хілша

В 1992 р. винахідник з Кишинєва Ю.С. Потапов зробив спробу використати «трубу Ранке» для охолодження води. Вода в вихровій трубі розділилася на два потоки, але не на холодний і теплий, як розраховував винахідник, а на гарячий і теплий. Ретельна калориметрія показала, що такий пристрій виробляє теплової енергії більше, ніж споживає електричний двигун насоса з мережі живлення.

Так з'явився теплогенератор Потапова, але винахідник не зміг пояснити чому ККД пристрою становив 150 – 200 % і при патентуванні винаходу в 1993 р. про це змовчав.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В тому ж 1993 році американський винахідник Джеймс Гріггс запатентував «гідросонну помпу», схожу на сепаратор, яка нагрівала воду, а її ККД становив 117 %. Гріггс також не міг зрозуміти звідки і як з'являється «зайве» тепло в його пристрої.

Незважаючи на це, обидва винахідники поставили свої теплогенератори на серійний випуск.

Звичайно ККД не може бути більшим 100 %, тому що це протирічить закону збереження енергії. Правильніше говорити про ефективність теплогенератора – відношення теплової енергії, яку він виробляє до енергії, яку він споживає від зовнішнього джерела живлення.

Довгий час вчені не могли зрозуміти звідки береться тепло, поки український фізик Леонід Фомінський не запропонував свою теорію руху, яка дозволяє описувати фізичні процеси пов'язані, як з поступальним так і обертальним рухом.

Згідно цієї теорії в процесі прискорення обертання води і деяких інших рідин у вихровому потоці проходить реакція холодного ядерного синтезу, яка стимулюється полями обертання. При цьому з протонів синтезуються ядра атомів дейтерію, тритію і гелію-3 без випромінювання нейтронів. Тепловий ефект від цієї ядерної реакції у десятки і сотні разів перевершує енергію, яка затрачується на прискорення обертання, а кількість води, яка перетворюється в тепло така мізерна, що тільки аналітичними вагами можливо зробити цей вимір. Практично можна говорити про відкриття дармового джерела енергії для всього людства. Хоча закінченої єдиної теорії вихрової труби взагалі не існує, і дотепер незважаючи на простоту цього пристрою.

На жаль українські вчені відносяться до теплогенератора Потапова і теорії Фомінського так, як в свій час французькі до винаходу Ж. Ранке і саме тому на Заході про них знають більше ніж у нас на Україні, хоча «дармового» тепла нам зараз потрібно більше, ніж Німеччині або США.

В 1998 р. теплогенератор Потапова завоював золоту медаль на міжнарод

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ній виставці і президент США Білл Клінтон вручив Юрію Семеновичу Потапову міжнародну премію «Факел Бурмінгама».

Сьогодні вихрові теплогенератори широко використовується не тільки для поділу газів на холодний і гарячий потоки (термотрансформатори), але й для вакуумування (вакуум-насоси), як осушувачі, сепаратори, елементи контрольно-вимірювальних приладів і т.д.

Метою нашого дипломного проекту є пошук більш повного опису вихрових процесів і пошуку найефективнішого способу застосування вихрових генераторів тепла в промисловості і комунальному господарстві.

2.1.2. Механоактивація

Те, що механічний вплив на рідину в замкнутому об'ємі приводить до її нагрівання, встановив ще Джеймс П. Джоуль (1818 – 1889 р.) і його сучасник німецький фізик Роберт Майер, що визначили механічний еквівалент теплоти (це зіграло велике значення в обґрунтуванні закону збереження й перетворення енергії).

Але тільки в наш час встановлено, що в тепло може бути перетворена не тільки механічна робота двигуна, але й внутрішня енергія рідини (на основі використання властивостей рідини, що проявляються при особливих умовах її взаємодії з поверхнями твердих тіл, а також між внутрішніми шарами рідини - в режимі кавітації).

При розвинутій кавітації відносний об'єм приповерхневих областей рідини збільшується: в кожному міліметрі кавітаційної рідини знаходиться від 10^3 до 10^5 парогазонаповнених пульсуючих кавітаційних бульбашок з середнім діаметром близько 10 мкм кожна.

Тому фізичні властивості механоактивованої кавітаційної рідини не можуть не залежати від її властивостей в приповерхневих областях.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З представлених на рис. 2.2 залежностей видно, що діелектрична проникність ε води в тонкій плівці або в каплі, починаючи з товщини d_0 плівки або діаметра D_0 каплі, зменшується відносно проникності води у вільному стані.

При зменшенні товщини d шару води від 40 до 10 мкм її відносна діелектрична проникність монотонно зменшується від номінального значення $\varepsilon = 81$ до значення $\varepsilon = 10 \pm 3 \%$, тобто зменшується майже на порядок величини. Подібну картину можна спостерігати і для каплі води при зменшенні діаметра D_0 від 60 до 10 мкм.

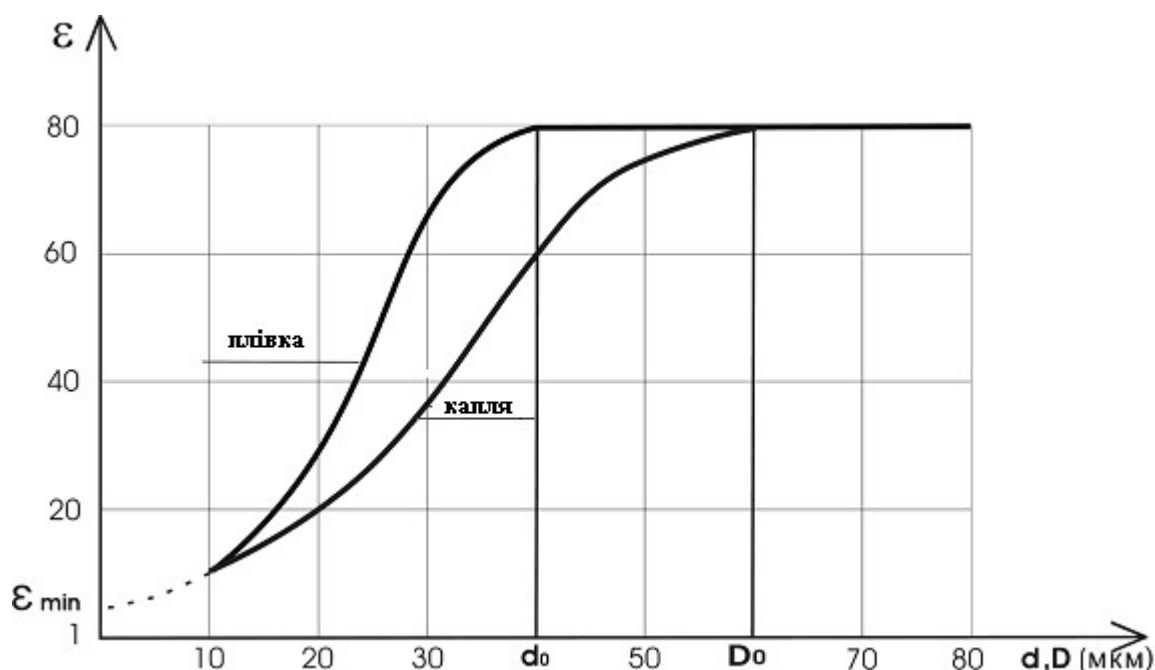


Рис. 2.2. Залежність діелектричної проникності води від діаметру плівки і каплі.

Прийнято вважати, що відносно висока величина статичної діелектричної проникності води пов'язана з високими значеннями дипольних моментів надмолекулярних утворень — випадкових асоціацій молекул (нанокластерів $(H_2O)_n$) просторова орієнтація яких в зовнішньому електростатичному полі визначається його спрямованістю.

Тому зменшення діелектричної проникності води в тонкому шарі природно пов'язати з зниженням орієнтаційної сприйнятливості молекулярних асоціацій, тобто з частковим «заморожуванням» в приповерхневих областях результуючих дипольних моментів кластерів некомпенсованими силами поверхневого шару, що виникають в результаті структурного впорядкування молекул цього шару механічними силами.

Як видно з наведених графіків, в нормальних кліматичних умовах товщина приповерхнього шару води становить близько $0,5d_0 = 20$ мкм, а радіальна товщина частково впорядкованого приповерхнього шару краплі води – близько $0,5D_0 = 30$ мкм.

Відповідно, ефективні товщини приповерхневих шарів для плоскої поверхні і краплі становлять близько 11 мкм і 16 мкм.

З графіків також видно, що при зменшенні параметрів d і D значення діелектричної проникності води наближається до величини $\epsilon_{\min}$ (пунктир), близької до діелектричної проникності $\epsilon_{\text{л}}$ льоду в його найпоширенішій кристалічній модифікації.

В наслідок механоактивації потік води характеризується нерівномірним розподілом локальних швидкостей і, відповідно, – високими градієнтами механічних напружень в рідині; в потоці виникають області з негативними тисками.

Так наприклад, при початковій температурі води на вході генератора $T_1 = 20$ °С температура води після механічної обробки зросла до $T_2 = 55$ °С, при початковій температурі $T_1 = 40$ °С – до температури $T_2 = 85$ °С; при початковій температурі $T_1 = 66,5$ °С на виході кипляча вода.

Порівняльна оцінка кількості тепла, еквівалентного роботі механоактивації, і тепла, потрібного для нагрівання води в зазначених температурних інтервалах, дозволяє зробити висновок про існування додаткового тепла в процесі механоактивації.

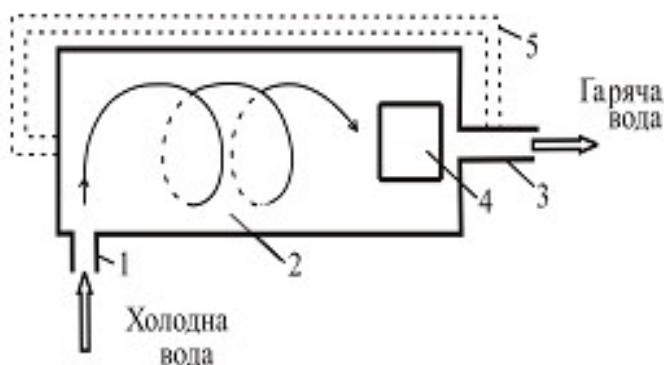
					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Основні типи вихрових генераторів тепла та особливості їх конструкцій

2.2.1. Основні групи та принцип роботи гідродинамічних генераторів тепла

Пасивний гідродинамічний теплогенератор з тангенціальним введенням потоку рідини, фактично є модифікацією широко відомої вихрової труби, заснованої на ефекті Ранке - Хілша і призначеної для охолодження газового потоку.

Основна відмінність вихрового теплогенератора від вихрової труби Ранка в заміні газоподібного робочого тіла (повітря) рідким - водою. Основними елементами цього генератора є: струменевий апарат 1, робоча або вихрова камера 2 з вихідним патрубком 3 і гальмуючий пристрій 4, іноді теплогенератор оснащений додатковою магістраллю 5 див. рис.2.3.



1 – струменевий апарат; 2 – робоча або вихрова камера; 3 – вихідний патрубок; 4 – гальмуючий пристрій; 5 – додаткова магістраль.

Рис. 2.3. Основні конструктивні елементи пасивного вихрового генератора з тангенціальним введенням потоку.

В найпростішому випадку струменезакручуючий апарат генератора виконаний у вигляді вхідного патрубка, що забезпечує тангенціальне введення

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

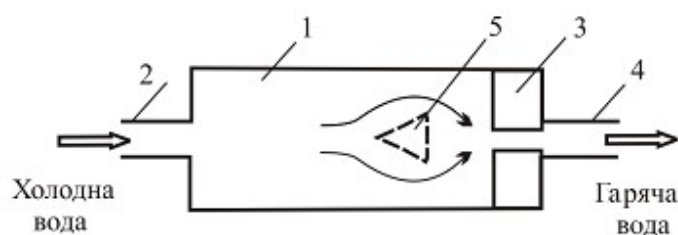
потіку холодної води з нагнітального насоса в область циліндричної вихрової камери.

В вихровій камері потік закручується, прискорюється і, обертаючись, рухається вздовж камери в напрямку до вихідного патрубка, де гальмується гальмуючим пристроєм і виходить назовні споживачеві через вихідний патрубок.

В процесі вихрового руху і гальмування рідина в робочій камері активується, нагрівається, і з вихідного патрубка виходить гаряча вода. Частина гарячої води для підвищення ефективності роботи теплогенератора може подаватися з виходу на вхід через додаткову магістраль.

В різних модифікаціях вихрових генераторів струменезакручуючі апарати виконуються з гвинтовими або спіральними профілями робочих камер, з постійним або звуженим патрубком, з однієї або декількома робочими камерами.

Ще простіше виглядає пасивний гідродинамічний теплогенератор з аксіальним введенням потоку рідини. Основними елементами такого генератора є: робоча камера 1 з патрубком 2 і звужуючий пристрій 3 з вихідним патрубком 4 теплогенератор додатково облаштовують формувачем потоку 5 див. рис.2.4.



1 – робоча камера; 2 – патрубок; 3 – звужуючий пристрій; 4 – вихідний патрубок; 5 – формувач потоку.

Рис. 2.4. Основні конструктивні елементи пасивного вихрового генератора з аксіальним введенням потоку рідини.

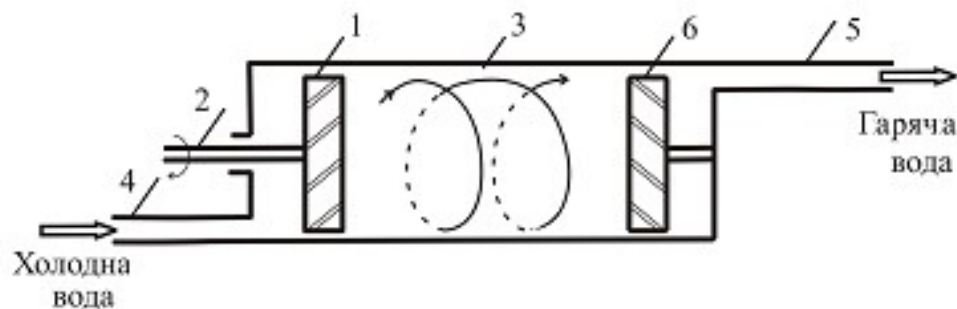
					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В конструкціях пасивних аксіальних теплогенераторів використовують різні типи звужуючих пристроїв: із циліндричними, конічними, щелевидними або спіральними отворами, з одним і більше отворами, з однієї або декількома послідовно встановленими перегородками і т.п.

Крім пасивних генераторів з тангенціальним і аксіальним введенням рідини, застосовуються і генератори змішаного типу, в яких для підвищення ефективності роботи одночасно використовуються як вихрові труби, так і звужуючі пристрої.

В генераторах третьої групи - активних - механоактивація робочого тіла відбувається за допомогою розміщених в робочих камерах рухомих елементів ротаційного типу з примусовим обертанням.

Основним вузлом активного ротаційного генератора є: ротор 1 і вал 2 що приєднаний до зовнішнього приводу див. рис.2.5.



1 – ротор; 2 – вал; 3 – робоча камера; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок; 6 – гальмуючий пристрій.

Рис. 2.5. Основні конструктивні елементи активного вихрового ротаційного генератора.

Ротор встановлюється в середині циліндричної робочої камери 3 з вхідним 4 і вихідним 5 патрубками, і гальмуючим пристроєм 6. Ротор і гальмуючий пристрій можуть бути виконані у вигляді турбін.

При подачі у вхідний патрубок активного генератора холодної води вона розкручується ротором, прискорюється, частково активується і нагрівається,

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рухаючись в напрямку нерухомого гальмуючого пристрою, де знову пригальмовується, додатково активується і нагрівається виходячи через вихідний патрубок назовні.

Всі активні теплогенератори відрізняються між собою, в основному, конструкціями роторів і гальмівних пристроїв.

В кожній з трьох виділених груп теплогенераторів можуть додатково створюватися спеціальні режими роботи, що сприяють активації рідини і, як наслідок, - збільшенню тепловіддачі.

Порівняльний аналіз теплопродуктивності розглянутих груп генераторів показує, що, незважаючи на відсутність рухомих частин і високу експлуатаційну надійність пасивних генераторів, генератори активного типу можуть виявитись більш перспективними для практичного використання, оскільки, в принципі, дають можливість більш ефективно забезпечити результативну механоактивацію робочої рідини.

2.2.2. Особливості конструкцій теплогенераторів

Вихрові гідравлічні теплогенератори є одним із нових видів енергетичних пристроїв і використовуються в основному для нагрівання рідин або суспензій, з метою автономного теплозабезпечення об'єктів різного призначення. Особливості конструкції і структури вихрових теплогенераторів з циліндричною вихровою камерою добре розглядати на прикладі теплогенератора одного з перших розробників вихрових теплогенераторів – Ю.С. Потапова.

Основними конструктивними елементами вихрового теплового генератора (теплогенератора) є вихрова труба 3, зображена на рис.2.6.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

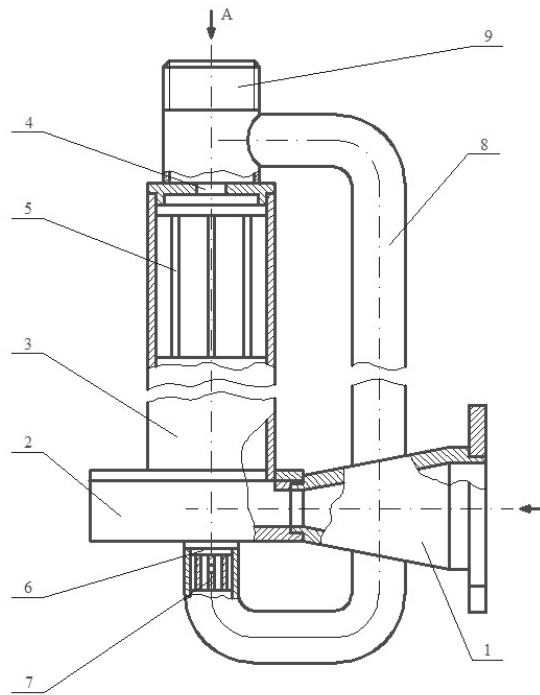


Рис. 2.6. Схема вихрової труби теплогенератора Ю.С. Потапова.

Інжекційний патрубок 1 з'єднаний з фланцем відцентрового насоса (на рисунку не показаний). Вода подається під тиском 0,4...0,6 МПа. Завиток 2 створює закручений потік, який потрапляє в циліндричну частину вихрової труби 3, довжина якої орієнтовно в 10 разів більша її діаметра. Центральний отвір 4 призначений для виходу гарячого потоку. Перед виходом знаходиться гальмуючі пристрої 5, виконані в вигляді декількох плоских пластин, радіально приварених до центральної втулки.

При русі вихрового потоку до гальмуючого пристрою в осьовій зоні труби формується потік направлений до штуцера 6 врізаного в плоску стінку завитка 2 призначеного для випускання холодного потоку. В штуцері встановлений направляч потоку 7 аналогічний гальмуючому пристрою, він призначений для часткового перетворення кінетичної енергії холодного потоку в теплову. Тепловий потік по байпасу 8 подається в патрубок 9, далі нагріта вода подається на вхід рідинного насоса при цьому її частина надходить споживачеві. Охолоджена в теплообмінниках вода також повертається на вхід насоса.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більш сучасна конструкція вихрового теплогенератора випускається сьогодні на ООО « Термовихрь » див. рис.2.7. Модельний ряд цих теплогенераторів відрізняється від генератора Потапова конструкцією вихрової камери, яка забезпечує більш направлену дію вихрового потоку рідини.



Рис. 2.7. Загальний вигляд вихрового теплогенератора « Термовихрь ».

Перевагою таких конструкцій є розміщення вихрової камери в теплоізолюючих ємкостях, що зменшує втрати в навколишнє середовище.

Іншим видом вихрового теплогенератора є гідродинамічні установки фірми « Текмаш » див. рис. 2.8.



Рис. 2.8. Загальний вигляд вихрового теплогенератора « ТЕКМАШ ».

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фізична суть процесу, що відбувається в гідродинамічних установках «ТЕКМАШ», полягає в наступному.

Потік рідини, що потрібно нагріти, розганяється насосом і направляється в спеціальну насадку - змішувач, де його швидкість значно підвищується, а тиск падає. Одночасно через сопла, розташовані в стінках насадки, в основний потік з великою швидкістю направляються струмені тієї ж або іншої підмішуваної рідини див.рис.2.9.

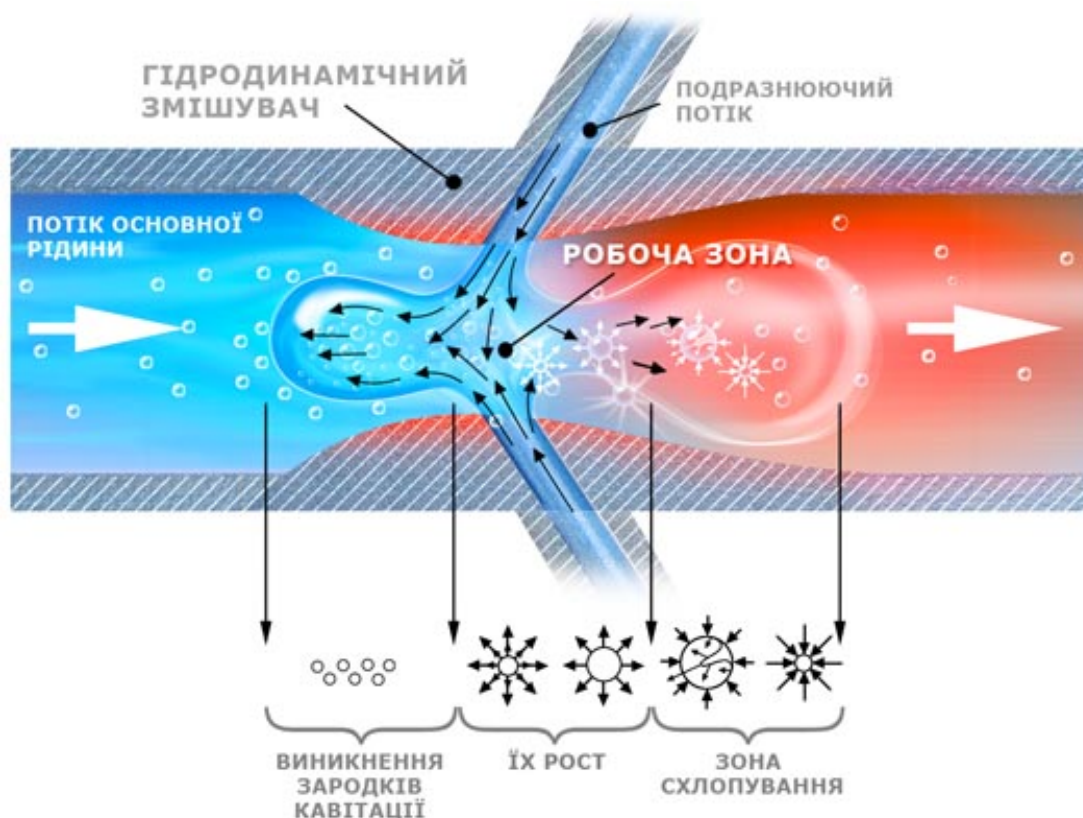


Рис. 2.9. Схема роботи гідродинамічної установки фірми « ТЕКМАШ » (Україна).

В результаті зіткнення потоків в рідині виникають значні напруження, що в умовах зниженого тиску призводять до холодного закипання рідини (так званий ефект кавітації). При цьому в зоні зіткнення виникають центри пароутворення у вигляді кавітаційних мікропухирців, що несуться потоком рідини і ростуть до розмірів в кілька міліметрів.

Потрапляючи в зону розширення потоку, де його тиск зростає, пухирці починають зменшуватися в розмірах і схлопуються. В силу властивостей рідини схлопування пухирців відбувається асиметрично й супроводжується утворенням кумулятивного струмка, що вдаряє з великою швидкістю в протилежну стінку пухирця.

Потрапляння в зону нагрівання твердих часток або сторонніх рідин призводить до їх активного руйнування (дроблення), тому що тиск у зоні схлопування досягає декількох десятків тисяч атмосфер. Завдяки спеціально спроектованим формам і розмірам насадок, в яких відбувається гідроудар, імпульс сил тиску не передається на стінки насадок, тобто не приводить до руйнування (ерозії) їхніх поверхонь.

2.3. Кількісна оцінка ефективності дисипації механічної енергії рухомої рідини в круглому циліндричному каналі

2.3.1. Ламінарний стабілізований рух рідини

При ламінарному стабілізованому русі рідини в круглій циліндричній трубі розподіл швидкостей у поперечному перерізі має параболічний вигляд:

$$u = -\frac{1}{4 \cdot \mu} \cdot (R^2 - r^2) \cdot \frac{dp}{dz},$$

де p – тиск; R – радіус труби; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

У цьому випадку дисипативна функція (1.6) в циліндричній системі координат буде мати вигляд:

$$\Phi = \frac{r^2}{4 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{dp}{dz} \right)^2.$$

Враховуючи, що значення градієнту тиску вздовж труби розраховується за формулою:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{8 \cdot \mu}{R^2} \cdot u_{cp},$$

де u_{cp} – середня по перерізу каналу швидкість, визначаємо середньозважене значення дисипації:

$$\Phi_0 = \frac{1}{\pi \cdot R^2} \int_0^R 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \Phi(r) \cdot dr = \frac{8 \cdot \mu \cdot u_{cp}^2}{R^2}. \quad (2.1)$$

З [125] відомо, що потужність, яка витрачається на транспортування одиниці об'єму рідини при ламінарному русі розраховується за формулою:

$$N_{\text{л}} = \frac{N}{V} = \frac{Q \cdot \Delta p}{V} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot u_{cp}}{\pi \cdot R^2 \cdot L} \cdot \frac{8 \cdot \mu \cdot L}{R^2} \cdot u_{cp} = \frac{8 \cdot \mu \cdot u_{cp}^2}{R^2}, \quad (2.2)$$

де враховано, що об'ємна витрата рідини: $Q = \pi \cdot R^2 \cdot u_{cp}$; втрати тиску в трубопроводі: $\Delta p = \frac{8 \cdot \mu \cdot L}{R^2} \cdot u_{cp}$; об'єм рідини на ділянці трубопроводу довжиною L : $V = \pi \cdot R^2 \cdot L$.

Коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії рідини при ламінарному русі через круглий циліндричний канал:

$$\eta = \frac{\Phi_0}{N_{\text{л}}} = \frac{8 \cdot \mu \cdot u_{cp}^2}{R^2} \cdot \frac{R^2}{8 \cdot \mu \cdot u_{cp}^2} = 1.$$

Таким чином, коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії при ламінарному русі через круглий циліндричний канал дорівнює одиниці. Тобто вся потужність витрачається на нагрівання рідини.

2.3.2. Турбулентний стабілізований рух рідини

Визначимо середньозважене значення дисипації в круглому

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циліндричному каналі для турбулентного режиму руху рідини, розглянувши розподіл швидкостей при $Re > Re_{кр} = 2300$.

Точного теоретичного розв'язку для турбулентного руху в трубах не існує, і всі формули та закономірності отримані або безпосередньо із досліду, або напівемпіричним шляхом. Відомі закони розподілу швидкостей при турбулентному русі як показниковий:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(\frac{y}{R} \right)^n, \quad (2.3)$$

де $y = R - r$; $u_{\max}$ — максимальна швидкість; $n = \frac{1}{7}$ — показник степеня (приймається більшістю дослідників); так і логарифмічний (у натуральних логарифмах):

$$\frac{u}{v_*} = 2,5 \cdot \ln \frac{v_* \cdot y}{\nu} + 5,5,$$

де v_* — динамічна швидкість, що визначається тертям на стінці та густиною рідини; ν — кінематична в'язкість рідини.

Введемо безрозмірну координату: $x = \frac{r}{R}$ та розіб'ємо область, що зайнята потоком рідини, на ламінарний підшар поблизу стінки товщиною δ_L та турбулентне ядро (рис. 2.10).

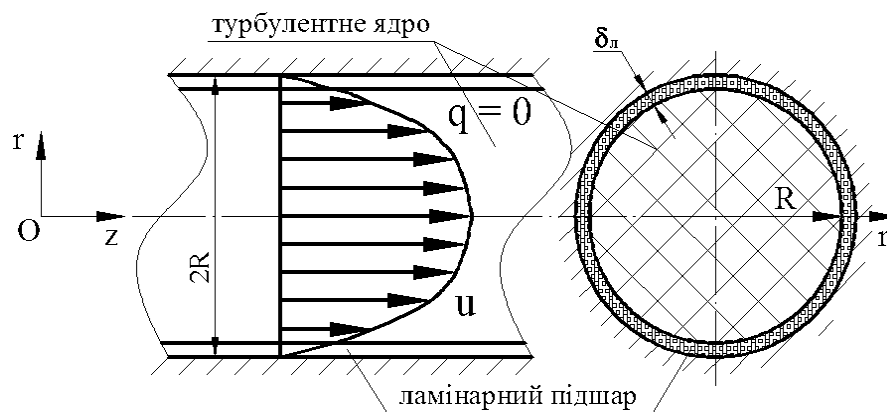


Рис. 2.10. Схема турбулентного руху рідини в круглому циліндричному каналі

Товщина ламінарного підшару буде визначатися формулою:

$$\delta_{\text{л}} = \alpha \cdot \frac{V}{v_*}, \quad (2.4)$$

де α – універсальна константа турбулентності, чисельне значення якої для турбулентного потоку в круглому циліндричному каналі складає 11,5 [45, 125].

Динамічна швидкість визначається виразом:

$$v_* = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}, \quad (2.5)$$

де σ – напруга тертя; ρ – густина рідини.

Напруга тертя обчислюється за формулою:

$$\sigma = \xi \cdot \frac{\rho \cdot u_{\text{cp}}^2}{8}, \quad (2.6)$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічного опору при турбулентному русі, для розрахунку якого будемо використовувати логарифмічну залежність запропоновану Конаковим П.К:

$$\xi = \frac{1}{(0,782 \cdot \ln \text{Re} - 1,5)^2}. \quad (2.7)$$

Підставляючи (2.3) – (2.7) у формулу (2.7) і ділячи на R , отримаємо вираз для розрахунку відносної товщини ламінарного підшару

$$\delta = \frac{\delta_{\text{л}}}{R} = \frac{4\sqrt{2} \cdot \alpha \cdot (0,782 \cdot \ln \text{Re} - 1,5)}{\text{Re}}. \quad (2.8)$$

Обчислимо для прикладу відносну товщину ламінарного підшару $\delta = \frac{\delta_{\text{л}}}{R}$.

Так при $\text{Re}=4000$, $\delta=8,1 \cdot 10^{-2}$; при $\text{Re}=3,24 \cdot 10^6$, $\delta=2,05 \cdot 10^{-4}$. Тобто зі збільшенням числа Рейнольдса товщина ламінарного підшару зменшується.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для турбулентного режиму руху рідини значення дисипативної функції будемо знаходити окремо для ламінарного підшару і турбулентного ядра, та розглядати їх суму:

$$\Phi = \Phi_L + \Phi_T.$$

Для ламінарного підшару приймемо параболічний закон розподілу швидкостей, оскільки лінійний розподіл $u = \frac{v_*^2}{\nu} \cdot y$ не задовольняє диференціальне рівняння пограничного шару:

$$\frac{u}{u_{\max}} = (1 - x^2),$$

де $u_{\max} = 2 \cdot u_{cp}$.

У цьому випадку дисипативна функція буде визначатись виразом:

$$\Phi = \mu \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 = 16 \cdot \mu \cdot u_{cp}^2 \cdot x^2.$$

Середньозважене значення дисипації у ламінарному підшарі можна знайти взявши інтеграл:

$$\Phi_L = \frac{1}{S_L} \int_{1-\delta}^1 2 \cdot \pi \cdot x \cdot \Phi(x) \cdot dx = \frac{1}{S_L} \cdot 8 \cdot \pi \cdot \mu \cdot u_{cp}^2 \cdot [1 - (1 - \delta)^4], \quad (2.9)$$

де $S_L = \pi \cdot R^2 \cdot [1 - (1 - \delta)^2]$ – площа поперечного перерізу ламінарного підшару.

Підставляючи формулу для знаходження площі поперечного перерізу ламінарного підшару у вираз (2.9), остаточно отримаємо:

$$\Phi_L = 8 \cdot \mu \cdot \frac{u_{cp}^2}{R^2} \cdot [1 + (1 - \delta)^2]. \quad (2.10)$$

1. Знайдемо середньозважене значення дисипації в турбулентному ядрі

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Φ_T для розподілу швидкостей за показниковим законом $n = \frac{1}{7}$ (2.10),

враховуючи, що $y = R - r$ та виконуючи заміну $x = \frac{r}{R}$:

$$\frac{u}{u_{\max}} = (1-x)^{\frac{1}{7}}.$$

У цьому випадку значення дисипативної функції буде визначатись виразом:

$$\Phi = \mu \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 = \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{49} \cdot (1-x)^{-\frac{12}{7}}.$$

Середньозважене значення дисипації для турбулентного ядра:

$$\Phi_T = \frac{1}{S_T} \int_0^{1-\delta} 2 \cdot \pi \cdot x \cdot \Phi(x) dx = \frac{1}{S_T} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{49} \int_0^{1-\delta} x \cdot (1-x)^{-\frac{12}{7}} \cdot dx = \frac{2 \cdot \pi}{S_T} \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{49} \cdot I,$$

де $S_T = \pi \cdot R^2 \cdot (1-\delta)^2$ – площа поперечного перерізу турбулентного ядра.

Обчислюємо окремо інтеграл:

$$I = \int_0^{1-\delta} x \cdot (1-x)^{-\frac{12}{7}} \cdot dx = \left[\frac{7}{5} \cdot x \cdot (1-x)^{-\frac{5}{7}} + \frac{49}{10} \cdot (1-x)^{-\frac{2}{7}} \right] \Big|_0^{1-\delta} = 1,4 \cdot \delta^{-\frac{5}{7}} + 3,5 \cdot \delta^{\frac{2}{7}} - 4,9.$$

Для прикладу, при числі Рейнольдса $Re=4000$, відносна товщина ламінарного підшару $\delta = \frac{\delta_a}{R} = 8,1 \cdot 10^{-2}$, значення інтегралу $I=5,24$. Тоді середньозважене значення дисипації для турбулентного ядра буде визначатися виразом:

$$\Phi_T = 0,253 \cdot u_{\max}^2 \cdot \frac{\mu}{R^2}.$$

Для практичних розрахунків приймаємо: $u_{\max} = \beta \cdot u_{cp}$, де

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

β – параметр, що встановлює співвідношення між максимальною та середньою швидкістю, і який розраховується за формулою:

$$\beta = 1 + \frac{3,75}{2\sqrt{2} \cdot (0,782 \cdot \ln \text{Re} - 1,5)}.$$

Для випадку $\text{Re}=4000$ відношення складає $\beta=1,266$.

Таким чином, враховуючи співвідношення між максимальною та середньою швидкістю, остаточно отримаємо середньозважене значення дисипації для турбулентного ядра:

$$\Phi_T = 0,454 \cdot u_{cp}^2 \cdot \frac{\mu}{R^2}.$$

Сумарне значення дисипації для показникового розподілу швидкостей у поперечному перерізі каналу при $\text{Re}=4000$:

$$\Phi = \Phi_L + \Phi_T = 8 \cdot \mu \cdot \frac{u_{cp}^2}{R^2} \cdot (1 + 0,919^2) + 0,454 \cdot u_{cp}^2 \cdot \frac{\mu}{R^2} = 15,2 \cdot \mu \cdot \frac{u_{cp}^2}{R^2}.$$

Затрати потужності на транспортування одиниці об'єму рідини по трубах при турбулентному русі, аналогічно до формули (2.10), представимо у вигляді:

$$\dot{N}_0 = \xi \cdot \frac{\rho \cdot u_{cp}^3}{4 \cdot R}, \quad (2.11)$$

де ξ – коефіцієнт опору, для обчислення якого використовуємо універсальну формулу Конакова П.К. (2.7). Для нашого прикладу, при $\text{Re}=4000$ коефіцієнт опору $\xi=4 \cdot 10^{-2}$.

Отже, коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії рідини при турбулентному русі через круглий циліндричний канал з врахуванням розподілу швидкостей за показниковим законом $n = \frac{1}{7}$:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta = \frac{\Phi_0}{N_0} = \frac{15,2 \cdot u_{cp}^2 \cdot \mu}{R^2} \cdot \frac{4 \cdot R}{\xi \cdot \rho \cdot u_{cp}^3} = \frac{121,6}{\xi \cdot Re} = 0,76.$$

2. Обчислимо середньозважене значення дисипації Φ_T для турбулентного ядра потоку, використавши логарифмічний закон розподілу швидкостей:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \frac{2,5 \cdot \ln \frac{v_*}{\nu} \cdot R \cdot (1-x) + 5,5}{2,5 \cdot \ln \frac{v_*}{\nu} \cdot R + 5,5}, \quad (2.12)$$

де $x = \frac{r}{R}$; v_* – динамічна швидкість.

Введемо позначення: $M = 2,5 \cdot \ln \frac{v_*}{\nu} \cdot R + 5,5$. Тоді формула (2.12) буде мати вигляд:

$$u = \frac{u_{\max}}{M} \cdot 2,5 \cdot \ln \frac{v_*}{\nu} \cdot R \cdot (1-x) + 5,5.$$

У цьому випадку дисипативна функція буде визначатись виразом:

$$\Phi = \mu \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 = 6,25 \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{M^2} \cdot \frac{1}{(1-x)^2}.$$

Середньозважене значення дисипації для турбулентного ядра:

$$\Phi_T = \frac{1}{S_T} \int_0^{1-\delta} 2 \cdot \pi \cdot x \cdot \Phi(x) \cdot dx = \frac{12,5 \cdot \pi}{S_T} \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{M^2} \int_0^{1-\delta} \frac{x}{(1-x)^2} \cdot dx = \frac{12,5 \cdot \pi}{S_T} \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{M^2} \cdot I, \quad (2.13)$$

де $S_T = \pi \cdot R^2 \cdot (1-\delta)^2$ – площа поперечного перерізу турбулентного ядра;

$\delta = \frac{\delta_L}{R}$ – відносна товщина ламінарного підшару.

Обчислюємо окремо інтеграл:

$$I = \int_0^{1-\delta} \frac{x}{(1-x)^2} \cdot dx = \left(\frac{x}{1-x} + \ln(1-x) \right) \Big|_0^{1-\delta} = \frac{1-\delta}{\delta} + \ln \delta. \quad (2.14)$$

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставляючи значення інтегралу (2.14) у вираз (2.13), отримаємо:

$$\Phi_T^0 = \frac{12,5 \cdot \pi}{S_T} \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{M^2} \cdot \left[\frac{1-\delta}{\delta} + \ln \delta \right] = 12,5 \cdot \mu \cdot \frac{u_{\max}^2}{M^2} \cdot \frac{\frac{1}{\delta} - 1 + \ln \delta}{R^2 \cdot (1-\delta)^2}.$$

Враховуючи співвідношення між максимальною та середньою швидкістю, отримаємо:

$$\Phi_T^0 = 12,5 \cdot \mu \cdot \frac{\beta^2 \cdot u_{cp}^2}{M^2} \cdot \frac{\frac{1}{\delta} - 1 + \ln \delta}{R^2 \cdot (1-\delta)^2},$$

$$\text{де } M = 2,5 \cdot \ln \left[\frac{\text{Re}}{2\sqrt{8}} \cdot \frac{1}{0,782 \cdot \ln \text{Re} - 1,5} \right] + 5,5.$$

Сумарне значення дисипації для логарифмічного розподілу швидкостей:

$$\Phi^0 = \Phi_L^0 + \Phi_T^0 = 8 \cdot \mu \cdot \frac{u_{cp}^2}{R^2} \cdot [1 + (1-\delta)^2] + 12,5 \cdot \mu \cdot \frac{\beta^2 \cdot u_{cp}^2}{M^2 \cdot R^2} \cdot \frac{\frac{1}{\delta} - 1 + \ln \delta}{(1-\delta)^2}.$$

Використовуючи формулу (2.11), для визначення затрат потужності на транспортування одиниці об'єму рідини при турбулентному русі, знайдемо коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії:

$$\eta = \frac{\Phi^0}{N^0} = \frac{8}{\xi \cdot \text{Re}} \cdot \left[8 \cdot [1 + (1-\delta)^2] + 12,5 \cdot \frac{\beta^2}{M^2} \cdot \frac{\frac{1}{\delta} - 1 + \ln \delta}{(1-\delta)^2} \right].$$

Для прикладу, що розглядався вище, при $\text{Re}=4000$ маємо: $\xi=4,03 \cdot 10^{-2}$; $M=17,88$; $\beta=1,266$; $\delta=8,1 \cdot 10^{-2}$; $\eta=0,768$.

Отже, результати розрахунків у випадку показникового закону розподілу швидкостей та логарифмічного майже співпадають.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо інший приклад, при $Re=3,24 \cdot 10^6$ маємо: $\xi=9,57 \cdot 10^{-2}$; $M=32,83$; $\beta=1,13$; $\delta=2,05 \cdot 10^{-4}$; $\eta=2,35 \cdot 10^{-2}$. Тобто коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії η при збільшенні числа Рейнольдса Re суттєво зменшується.

Порівнюючи результати розрахунків для ламінарного та турбулентного рухів рідини, можна побачити, що коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії рідин дорівнює одиниці $\eta=1$ тільки для ламінарного режиму. При турбулентному русі коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії η зменшується з ростом числа Рейнольдса $Re = \frac{u_{cp} \cdot 2 \cdot R}{\nu}$, що узгоджується з результатами чисельних розрахунків проведених Горячкіним. Очевидно даний ефект можна пояснити тим, що затрати механічної потужності на транспортування рідини пропорційні u_{cp}^3 , а дисипація пропорційна u_{cp}^2 .

2.3.3. Вплив шорсткості на ефективність дисипації механічної енергії рухомої рідини

Приведені вище закономірності отримані лише для труб з абсолютно гладкими стінками. Однак на практиці використовують труби, що мають шорсткі стінки. Навіть у тому випадку, коли на початку експлуатації поверхня труб є гладкою, за деякий час вони стають шорсткими внаслідок взаємодії поверхні труб з середовищем.

Шорсткість буває хвилястою та зернистою (пісочною шорсткістю). Як показують експерименти Нікурадзе І.І. (рис. 2.11), пісочна шорсткість суттєво впливає на величину коефіцієнту опору ξ , особливо при збільшенні висоти виступів Δ шорсткості ($\frac{R}{\Delta}=507$, крива є, рис. 2.11), та при збільшенні числа Рейнольдса Re , тобто $\xi = f\left(\frac{R}{\Delta}, Re\right)$.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

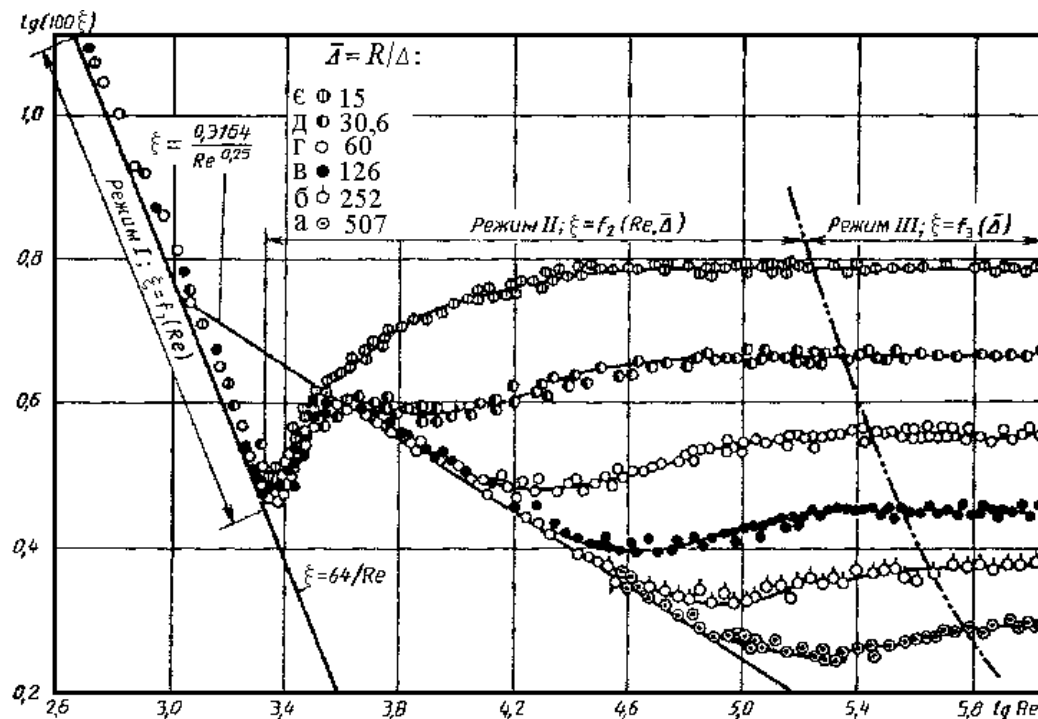


Рис. 2.11. Криві залежності коефіцієнту опору ξ від числа Рейнольдса Re при різних значеннях відносної шорсткості $\frac{R}{\Delta}$

Далі будемо позначати основні характеристики руху: ξ – коефіцієнт гідравлічного опору; v_* – динамічна швидкість; u – швидкість; u_{cp} – середня швидкість; u_{max} – максимальна швидкість; σ – напруження на стінках – з індексами: ш – шорсткість; г – гладкість. Тоді можна записати [125]:

$$v_{*u} = \sqrt{\frac{\sigma_u}{\rho}}; \sigma_u = \xi_u \cdot \frac{\rho \cdot u_{cpu}^2}{8}; v_{*u} = u_{cpu} \sqrt{\frac{\xi_u}{8}};$$

$$v_{*g} = \sqrt{\frac{\sigma_g}{\rho}}; \sigma_g = \xi_g \cdot \frac{\rho \cdot u_{cpg}^2}{8}; v_{*g} = u_{cpg} \sqrt{\frac{\xi_g}{8}};$$

де ρ – густина рідини.

Коефіцієнти опору для гладкої труби ξ_g розраховуємо за формулою Конакова П.К. (2.7), для шорсткої труби коефіцієнт опору обчислюємо за формулою :

$$\xi_u = \frac{1}{\left(0,869 \cdot \ln \frac{R}{\Delta} + 1,74\right)^2}. \quad (2.15)$$

Якщо середня швидкість в шорсткій трубі дорівнює середній швидкості у гладкій трубі $u_{срш}=u_{срг}=u_{ср}$, як прийнято на рис. 2.11, то:

$$\frac{v_{*ш}}{v_{*з}} = \sqrt{\frac{\xi_{ш}}{\xi_{з}}} = \frac{0,782 \cdot \ln Re - 1,5}{0,869 \cdot \ln \frac{R}{\Delta} + 1,74}.$$

Використовуючи наведені формули, знайдемо відношення дисипативних функцій у шорстких та гладких трубах $\frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{з}}$.

Закон розподілу швидкостей у шорстких трубах:

$$\frac{u_{ш}}{v_{*ш}} = 2,5 \cdot \ln \frac{y}{\Delta} + 8,5,$$

де $y = R - r$.

Дисипативна функція для шорстких труб буде визначатись виразом:

$$\Phi_{ш} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_{ш}}{\partial y} \right)^2 = \mu \cdot \left(2,5 \cdot v_{*ш} \cdot \frac{1}{y} \right)^2.$$

Аналогічно розподіл швидкостей у гладких трубах:

$$\frac{u_{з}}{v_{*з}} = 2,5 \cdot \ln \frac{v_{*з} \cdot y}{\nu} + 5,5.$$

У цьому випадку дисипативна функція буде визначатись виразом:

$$\Phi_{з} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_{з}}{\partial y} \right)^2 = \mu \cdot \left(2,5 \cdot v_{*з} \cdot \frac{1}{y} \right)^2.$$

Відношення дисипативної функції шорстких та гладких труб:

$$\frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{з}} = \left(\frac{v_{*ш}}{v_{*з}} \right)^2 = \frac{\xi_{ш}}{\xi_{з}} = \left(\frac{0,782 \cdot \ln Re - 1,5}{0,869 \cdot \ln \frac{R}{\Delta} + 1,74} \right)^2.$$

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення відношення $\frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{г}}$ для деяких чисел Рейнольдса Re та $\frac{R}{\Delta}$

приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Результати обчислень ефективності дисипації механічної енергії у шорстких трубах

Число Рейнольдса, Re		$3,24 \cdot 10^6$	$3,24 \cdot 10^6$	$3,24 \cdot 10^6$	10^4	10^5
Відносна шорсткість, $\frac{R}{\Delta}$		15 (крива є)	507 (крива а)	1,5 (екв)	1,5 (екв)	60 (крива г)
Відношення дисипативних функцій шорстких та гладких труб, $\frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{г}}$		6,24	2,04	23,8	2,72	1,42
Відносна товщина ламінарного підшару, δ		$8,22 \cdot 10^{-5}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-2}$	$3,45 \cdot 10^{-3}$
Коефіцієнт ефективності дисипації	Ламінарного підшару, $\eta_{пл}$	$6,62 \cdot 10^{-4}$	$2,02 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-4}$	$2,29 \cdot 10^{-1}$	$3,59 \cdot 10^{-2}$
	Турбулентного ядра потоку, $\eta_{шт}$	$9,38 \cdot 10^{-2}$	$5,35 \cdot 10^{-2}$	$1,84 \cdot 10^{-1}$	$1,75 \cdot 10^{-1}$	$7,08 \cdot 10^{-2}$
	Сумарне значення, η	$9,44 \cdot 10^{-2}$	$5,55 \cdot 10^{-2}$	$1,84 \cdot 10^{-1}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$1,07 \cdot 10^{-1}$
Співвідношення швидкостей	Шорстких труб, $\beta_{ш}$	1,319	1,19	1,608	1,608	1,25
	Гладких труб, $\beta_{г}$	1,13	1,13	1,13	1,232	1,176

Визначимо вплив шорсткості труб на коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії рухомих рідких середовищ η .

При малих числах Рейнольдса Re (ламінарний режим) шорсткість не проявляється і значення η буде таким, як для гладких труб. При великих числах Рейнольдса Re (турбулентний режим) розіб'ємо область, що зайнята потоком рідини, на ламінарний підшар товщиною $\delta_{л}$ поблизу стінок та турбулентне ядро.

Відносна товщина ламінарного підшару у шорстких трубах буде

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначатися формулою:

$$\delta = \frac{\delta_{\text{л}}}{R} = \frac{4\sqrt{2} \cdot \alpha \cdot \left(0,869 \cdot \ln \frac{R}{\Delta} + 1,74\right)}{\text{Re}},$$

яка отримана з аналогічної формули (2.10), наведеної вище, шляхом заміни $\xi_{\text{г}}$ на $\xi_{\text{ш}}$.

Розраховані значення відносної товщини ламінарного підшару δ представлені в табл. 2.1.

У ламінарному підшарі середньозважене значення дисипації, аналогічно до формули (2.10), буде визначатись виразом:

$$\Phi_{\text{шл}}^{\circ} = 8 \cdot \mu \cdot \frac{u_{\text{cp}}^2}{R^2} \cdot \left[1 + (1 - \delta)^2\right].$$

Для турбулентного ядра середньозважене значення дисипації:

$$\Phi_{\text{шт}}^{\circ} = \frac{2 \cdot A}{R^2 \cdot (1 - \delta)^2} \cdot \left[\frac{1}{\delta} - 1 + \ln \delta\right],$$

$$\text{де } A = \mu \cdot (2,5 \cdot u_{\text{cp}})^2 \cdot \frac{\xi_{\text{ш}}}{8}.$$

Сумарне значення дисипації: $\Phi_{\text{ш}}^{\circ} = \Phi_{\text{шл}}^{\circ} + \Phi_{\text{шт}}^{\circ}$.

Затрати потужності на транспортування одиниці об'єму рідини в шорстких трубах:

$$N_{\text{ш}}^{\circ} = \xi_{\text{ш}} \cdot \frac{\rho \cdot u_{\text{cp}}^3}{4 \cdot R},$$

Коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії рухомих рідин у шорстких трубах знаходимо як: $\eta = \eta_{\text{шл}} + \eta_{\text{шт}}$.

Таким чином одержимо:

$$\eta_{\text{шл}} = \frac{64}{\xi_{\text{ш}} \cdot \text{Re}} \cdot \left[1 + (1 - \delta)^2\right],$$

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{um} = \frac{25}{(1-\delta)^2 \cdot \text{Re}} \cdot \left[\frac{1}{\delta} - 1 + \ln \delta \right],$$

де $\xi_{ш}$ – коефіцієнт опору для шорстких труб, розраховуємо за формулою (2.15).

Результати обчислень значень коефіцієнтів $\eta_{шл}$, $\eta_{шт}$, η наведені в табл. 2.1.

Отримані формули справедливі за умови розвинутої шорсткості:

$$\lg \left(\frac{v_* \cdot \Delta}{\nu} \right) \geq 1,8. \quad (2.16)$$

Якщо умова (2.10) не виконується, тобто шорсткість не проявляється, то розрахунки проводимо за формулами для гідравлічно гладких труб.

Співвідношення між максимальною та середньою швидкістю для шорстких $\beta_{ш} = \frac{u_{\max ш}}{u_{cp}}$ та гладких труб $\beta_z = \frac{u_{\max z}}{u_{cp}}$ можна знайти за формулами:

$$\beta_{ш} = \left(2,5 \cdot \ln \frac{R}{\Delta} + B \right) \cdot \frac{\sqrt{\xi_{ш}}}{\sqrt{8}},$$

де $B=8,5$ – для розвинутої шорсткості;

$$\beta_z = \left(2,5 \cdot \ln \left(\text{Re} \cdot \frac{\sqrt{\xi_z}}{2\sqrt{8}} \right) + 5,5 \right) \cdot \frac{\sqrt{\xi_z}}{\sqrt{8}}.$$

Результати обчислень для певних значень чисел Рейнольдса Re та відносної шорсткості $\frac{R}{\Delta}$ приведені в табл. 2.1.

При хвилястій шорсткості замість $\bar{\Delta} = \frac{R}{\Delta}$ користуються величиною еквівалентної відносної шорсткості $\bar{\Delta}_s$, яка визначається експериментально. Величина еквівалентної відносної шорсткості може сильно відрізнятись від геометричної. Так хвилястій шорсткості з висотою 0,5 мм (при діаметрі труби 500 мм) відповідає еквівалентна пісочна шорсткість з висотою виступу $10 \div 20$ мм.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тобто пісочній шорсткості $\Delta_n = \frac{R}{\Delta} = \frac{250}{0,5} = 500$ відповідає еквівалентна шорсткість $\lambda_s^0 \approx \frac{R}{10 \div 20} = \frac{250}{10} = 25$; $\frac{\Delta_n}{\lambda_s^0} = 20$ раз. Це означає, що хвиляста шорсткість визиває значно більший опір, ніж пісочна з тією ж висотою виступів.

Ми використали для еквівалентної шорсткості величину виступів більшу лише у 10 разів: при $\lambda_s^0 = 1,5$ умова (2.16) буде виконуватись навіть для числа Рейнольдса $Re = 10^4$ і тоді відношення дисипативної функції в шорстких та гладких трубах буде складати $\frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{\epsilon}} = 2,72$. Особливо велике значення $\frac{\Phi_{ш}}{\Phi_{\epsilon}} = 23,8$ при еквівалентній шорсткості $\lambda_s^0 = 1,5$ та числі Рейнольдса $Re = 3,24 \cdot 10^6$ (див. табл. 2.1).

Таким чином, при розвиненій шорсткості та великих числах Рейнольдса Re дисипація зростає в декілька разів порівняно з гладкими трубами. Але при цьому зростають і затрати потужності на транспортування одиниці об'єму в'язкої рідини.

Підсумовуючи результати кількісної оцінки ефективності дисипації механічної енергії рухомих рідин в круглому циліндричному каналі, можна зробити такі висновки:

1. При ламінарному стабілізованому русі рідин вся механічна енергія надана потоку рідкого середовища повністю перетворюється у внутрішню енергію, внаслідок чого коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії дорівнює одиниці $\eta = 1$.

2. При турбулентному стабілізованому русі рідини у випадку $Re = 4000$ коефіцієнт ефективності дисипації механічної енергії складає $\eta = 0,76 < 1$ і зі збільшенням числа Рейнольдса суттєво зменшується. Даний ефект можна пояснити тим, що для турбулентного режиму руху затрати механічної потужності на транспортування рідких середовищ пропорційні u_{cp}^3 , а значення дисипації u_{cp}^2 .

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Вплив шорсткості на ефективність дисипації механічної енергії проявляється лише при турбулентному русі рідини в каналі. Для режиму розвиненої шорсткості та при великих числах Рейнольдса значення дисипації зростає в декілька разів порівняно з гладкими трубами. Але при цьому збільшуються і затрати механічної потужності потоку на транспортування одиниці об'єму в'язкої рідини, що обумовлює низькі значення коефіцієнтів ефективності дисипації механічної енергії.

2.4. Енергетична ефективність гідродинамічних вихрових теплогенераторів

2.4.1. Критерії енергетичної ефективності

Для визначення цих критеріїв використовується системний підхід, при якому втрати палива і енергії враховуються на всіх ланках енергетичного процесу від транспортування первинного енергоресурсу (палива) до кінцевого споживання виробленої теплової енергії.

Як критерії енергетичної ефективності застосовуються два взаємозалежних показники:

- 1) сукупний коефіцієнт корисної дії (ККД) первинного енергоносія, η_I , визначається як добуток окремих ККД по всіх ланках енергетичного процесу;
- 2) сукупні питомі витрати первинного енергоносія b_I на одиницю корисно витраченої теплоти в споживача.

Якщо сукупні питомі витрати первинного енергоресурсу виражати в кілограмах умовного палива на одну гікалорію корисно спожитого тепла, то його зв'язок з ККД описується рівнянням:

$$b_I = \frac{143}{\eta_I} \quad (2.17)$$

де:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η_I - коефіцієнт корисної дії енергоносія, Гкал;

b_I - сукупні питомі витрати первинного енергоносія на одиницю корисно витраченої теплоти, к.у.п/Гкал.

Величина названих критеріїв значною мірою залежать від повноти обліку втрат енергії по ланках енергетичного процесу. У випадку альтернативних котелень, що працюють на різних видах палива, при визначенні b_I і η_I враховуються наступні види втрат:

1) втрати палива при транспорті його від постачальника до котельні (ККД транспортування палива $\eta^r_{\delta\delta}$);

2) втрати при генеруванні тепла на котельні (ККД котельні $\eta^e_{\delta\delta}$, що враховують також втрати при виробництві електроенергії в енергосистемі на потреби котельні);

3) втрати теплоенергії при транспорті її до споживачів (ККД транспортування тепла $\eta^{\delta\delta}_{\delta\delta}$);

4) втрати від ненадійності системи тепlopостачання (ККД системи за умовами надійності);

5) втрати тепла через витоки теплоносія (ККД системи за умовами втрат теплоносія $\eta^{\delta\delta}_{\delta}$);

6) втрати і перевитрати теплоенергії в споживача внаслідок вимушених перетопів від недосконалості регулювання подачі та використання тепла (ККД використання тепла в споживача $\eta^{\delta\delta}_{\tilde{n}}$).

При тепlopостачанні з використанням електроенергії (вихрові гідро-динамічні теплогенератори) рівень їх енергетичної ефективності в деякій мірі залежить від ККД електростанцій енергосистеми, що беруть участь в електропостачанні цих установок.

В даній дипломній роботі приймається, що електропостачання приводу вихрових теплогенераторів і інших пристроїв, що використовують електро-

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергію, буде здійснюватися від електростанцій, що об'єднані в єдині енергетичні системи України.

При розрахунку показників ефективності використання енергоносія для теплопостачання з використанням електроенергії враховується ККД генерування електроенергії на електростанціях, втрати електроенергії в лініях електропередач, втрати енергії від ненадійності електропостачання, коефіцієнт перетворення електроенергії в теплоту в теплогенеруючих пристроях споживача. Втрати тепла в споживача в цьому випадку не враховуються, оскільки вважається, що електричний варіант теплопостачання забезпечує більш якісне регулювання подачі тепла.

2.4.2. Енергетична ефективність застосування вихрових гідродинамічних теплогенераторів для систем теплопостачання

Вихрові гідравлічні теплогенератори з моменту свого створення знайшли застосування для автономного опалення і гарячого водопостачання побутових і промислових приміщень. Вони ефективно використовуються в місцях де відсутнє централізоване теплопостачання, в районах де немає постачання природного газу, а також в якості резервної або мобільної системи опалення і гарячого водопостачання на випадок надзвичайних або аварійних ситуацій.

Вихровий теплогенератор може комплектуватись насосом з приводом від електродвигуна або двигуна внутрішнього згорання, що забезпечує мобільність системи теплозабезпечення. Блок керування забезпечує автоматичне підтримання температури в заданих межах, при цьому тепло подається споживачам по існуючим системам водяного опалення або через повітряні конвектори.

Застосування вихрових теплогенераторів сьогодні призведе до суттєвого покращення ситуації (зменшення витрат умовного палива) при заміні ними котелень на вугіллі чи інших видах твердого та іншого палива. В майбутньому, енергетична ефективність таких теплогенераторів може зрівнятись з ефектив-

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ністю використання малих котелень на рідкому чи газоподібному паливі. Економічна конкурентоспроможність теплогенераторів залежить від рівня тарифів за спожиту електроенергію. При оплаті за електроенергію по середньому тарифі в енергосистемі економічність теплогенераторів прирівнюється до котелень на рідкому паливі, а з оплатою за електроенергію по її собівартості теплогенератори будуть економічнішими за котельні на природному газі.

В випадку оплати за електроенергію за тарифами нижче собівартості, або спеціальними диференційованими тарифами вихрові теплогенератори стають конкурентоспроможними в порівнянні з котельнями на будь-якому виді палива при коефіцієнті перетворення в теплогенераторі - від одиниці й вище.

Порівняємо ефективність застосування вихрових теплогенераторів в системах централізованого теплопостачання.

В звичайних умовах вихрові гідравлічні теплогенератори програють системам централізованого теплопостачання по енергетичній ефективності за умови, що останні працюють у номінальному режимі з нормативними втратами тепла в тепломагістралях. Однак в існуючих нині реальних умовах магістральні тепломережі центрального теплопостачання працюють з недовантаженням і з більшими втратами тепла через низьку якість і зношення теплоізоляції. Втрати тепла в тепломагістралях за офіційним даними складають до 50 %, а іноді і вище.

В цих умовах цілком реальна ситуація, при якій енергетична ефективність використання енергоносія в системах централізованого теплопостачання зрівняється з енергетичною ефективністю системи теплопостачання з вихровими теплогенераторами. Легко визначити граничні значення завантаження тепломагістралей централізованого теплопостачання (ЦТ), при яких настає така рівність.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ККД транспортування тепла по тепломагістралям систем централізованого теплопостачання можна описати рівнянням:

$$\eta^{\circ \ddot{a}}_{\circ \ddot{o}} = \frac{\varphi_{\zeta} \cdot Q_i - L_{\ddot{a}\ddot{o}} \cdot Q_i}{\varphi_{\zeta} \times Q_i} = 1 - \frac{L_{\ddot{a}\ddot{o}}}{\varphi_{\zeta}} \quad (2.18)$$

де:

φ_{ζ} - коефіцієнт завантаження;

$L_{\ddot{a}\ddot{o}}$ - величина втрат тепла;

Q_i - номінальне навантаження тепломагістралі.

З врахування формули (2.2) коефіцієнт корисного дії енергоносія для систем центрального теплопостачання визначається по формулі:

$$\eta^{\circ \ddot{o}}_{\ddot{r}} = \eta^{\circ \ddot{a}}_{\circ \ddot{o}} \cdot \eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{a}} \cdot \eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{i}} \cdot \eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{n}} \cdot (1 - L_{\ddot{a}\ddot{o}} / \varphi_{\zeta}) \quad (2.19)$$

де:

$\eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{a}}$ - ККД генерування тепла в енергосистемі з врахуванням середніх питомих витрат палива, $\eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{a}} = 0,831$;

$\eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{i}}$ - надійність транспортування тепла по теплотрасі, $\eta^{\circ \ddot{a}}_{\ddot{i}} = 0,95$.

Підставляючи значення інших величин в формулу (2.19), отримаємо:

$$\eta^{\circ \ddot{o}}_{\ddot{r}} = 0,99 \cdot 0,831 \cdot 0,95 \cdot 0,78 \cdot (1 - L_{\ddot{a}\ddot{o}} / \varphi_{\zeta}) \quad (2.20)$$

$$\eta^{\circ \ddot{o}}_{\ddot{r}} = 0,61 \cdot (1 - L_{\ddot{a}\ddot{o}} / \varphi_{\zeta})$$

Граничне значення коефіцієнта завантаження тепломагістралі, при якому енергетична ефективність систем ЦТ і систем теплопостачання з вихровими гідродинамічними теплогенераторами зрівнюється, впливає з рівності їх ККД:

$$\eta^{\circ \ddot{o}}_{\ddot{r}} = \eta^{\ddot{a}\ddot{a}}_{\ddot{r}} \quad (2.21)$$

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення ККД для систем з вихровими теплогенераторами подані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Питомі витрати і коефіцієнт корисної дії енергоносія для вихрових гідродинамічних теплогенераторів

Коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову	ККД і питомі витрати енергоносія	
	η_I	b_I , кг.у.п / Гкал
0,90	0,297	481,5
1,05	0,346	413,3
1,20	0,396	361,1
1,40	0,462	309,5
1,60	0,528	270,8

При коефіцієнті перетворення електроенергії, в теплоту, рівному 1,2, ККД систем з вихровими теплогенераторами буде рівним 0,396.

Після підставлення в рівняння (2.19) і (2.20), формули для розрахунку граничного коефіцієнта завантаження тепломагістралей ЦТ приймуть вигляд:

$$\varphi_{\zeta} = L_{ao} / 0,351 \quad (2.21)$$

Результати розрахунку граничних значень коефіцієнта завантаження представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Граничні значення коефіцієнта завантаження тепломагістралі, при яких енергетична ефективність системи ЦТ і системи тепlopостачання з вихровими гідродинамічними теплогенераторами зрівнюється

Величина втрат через теплоізоляцію, %	Коефіцієнт завантаження тепломагістралі при якому ефективність систем вирівнюється
5	0,142
10	0,284
15	0,427
20	0,569

З приведених даних видно, що застосування вихрових теплогенераторів в системах централізованого теплопостачання в реальних умовах ефективно навіть при невеликих значеннях недовантаження тепломагістралей.

2.5. Оцінка енергоефективності застосування вихрових генераторів тепла в промисловості та житлово - комунальній сфері

2.5.1. Ефективність впровадження вихрових теплогенераторів для технологічного процесу пастеризації молока

На цей час в промисловій експлуатації знаходиться декілька десятків гідродинамічних установок. Застосування установок див.рис.2.12 для процесів пастеризації, змішування, емульгування, гомогенізації продуктів в комплекті з гідродинамічними нагрівачами дозволяє відключити котельню заводу та забезпечити всі технологічні операції, мінімізуючи витрати на ці цілі.



Рис. 2.12. Схема застосування гідродинамічних установок в харчовій промисловості.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В новому класі пастеризаторів - гідродинамічних установках нагрівання рідини проходить в її загальній масі, а не на конвективних поверхнях нагріву, тому в них принципово неможливе пригоряння продукту, яке присутнє в існуючих технологіях та обладнанні для пастеризації.

Так, використання гідродинамічних теплогенераторів див.рис.2.13 для пастеризації дозволяє покращити смакові властивості молочних продуктів завдяки подрібненню (диспергації) кавітаційними струмками високомолекулярних сполук, що присутні в молоці та молочних сумішах. Застосування в установках рекуперативного теплообмінника для попереднього підігріву молока на вході дозволяє значно знизити витрати електроенергії.



Рис. 2.13. Установка для пастеризації молока фірми « Текмаш ».

Таблиця 2.4.

Технічні характеристики установки для пастеризації молока

Параметр	ТЕК – 1ПГ	ТЕК - 2ПГ	ТЕК - 4ПГ
Потужність двигуна , кВт	7,5	11 - 15	45
Продуктивність, тон/год.	до 0,5	0,8 - 1,5	3 - 5
Середнє споживання електроенергії, кВт	7	10 - 12	40 - 52
Габаритні розміри , мм	1115×530×1050	1400×650 ×1250	1500×650×1400
Маса, кг	210	380	720
Ціна, грн.	75 000	86 000	120 000

Установки монтуються без значних змін в технологічні лінії пастеризації

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

харчових продуктів. В схемі теплообміну використовується рекуперація тепла. Температура пастеризації (стерилізації) 70-115 °С встановлюється згідно з вимогами технологічної інструкції на виготовлення продукту.

В дипломному проекті, як один з енергофактивних заходів, ми пропонуємо застосувати два вихрових теплогенератори Українського виробництва « Інститут «ТЕКМАШ» м. Херсон » в технологічному процесі переробки молока, а зокрема для пастеризації, традиційна схема якої представлена на рис. 2.13.

Для пастеризації молока зазвичай застосовуються три режими теплової обробки:

- 1) тривала пастеризація - нагрівання молока до 63 - 65 °С;
- 2) короткочасна пастеризація - нагрівання до 65 - 75 °С;
- 3) миттєва пастеризація - нагрівання до температури 85 - 95 °С;

По способу нагрівання молока пастеризаційні установки можна розділити на дві групи - поверхневого й об'ємного нагрівання.

В першу групу входять традиційні агрегати, в яких тепло передається молоку в теплообмінних апаратах (теплоносії – гаряча вода або пара), з поверхонь теплоелектричних елементів (ТЕНів) або інфрачервоних (ІЧ) нагрівачів. Другу групу розділяють на два види пастеризаторів - мікрохвильовий і гідродинамічний.

Тривала пастеризація проводиться в установках поверхневого нагрівання з використанням теплообмінників, а також ванн. Такі агрегати мають великі розміри, їх конструкції металомісткі, що в сукупності із тривалим часом процесу теплової обробки призводить до високих витрат енергії на пастеризацію. Тому їх використовують в основному в харчовій промисловості при виробництві сирів і в інших специфічних технологіях виробництва молочних продуктів.

В тваринницьких господарствах і на молокозаводах сьогодні найпоширеніші установки з ТЕНами і ІЧ нагрівачами, що забезпечують теплову обробку молока. В процесі пастеризації молока при температурах вище 75 °С на

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конвективних поверхнях утворюються відкладення фосфатів кальцію і денатурованого білка (так званий «молочний камінь» або пригар). Ці відкладення можна видалити лише за допомогою спеціальних багатокомпонентних розчинів, що містять поверхнево - активні речовини. Використання розчинів соди, лугів і кислот, як показує досвід, малоефективне, тому для повного зняття пригару потрібне періодичне механічне чищення, при якому дряпаються ТЕНи або кварцові трубки ІЧ нагрівачів. Подряпини стають центрами кристалізації молочного каменю, і підвищують швидкість пригоряння молока, що приводить до руйнування нагрівальних елементів.

Крім того, в установках з ТЕНами і ІЧ нагрівачами можна пастеризувати молоко з кислотністю не вище 18 °Т і низьким вмістом молозива, що починає пригоряти раніше молока, тобто по суті є каталізатором утворення молочного каменю.

В новому класі пастеризаторів - гідродинамічних установках ТЕК об'ємний « саморозігрів » молока відбувається в такий спосіб.

Потік молока розганяється електронасосом і направляється в спеціальну насадку - змішувач, де швидкість його значно підвищується, а тиск падає. Одночасно через сопла, розташовані в стінках насадки, в основний потік з великою швидкістю направляються струмені молока.

В результаті зіткнення струменів в основному потоці виникають значні напруження, що призводять в умовах зниженого тиску до холодного закипання (так званий ефект кавітації). Масова обробка кавітаційними гідроударами приводить до нагрівання молока, дробленню його компонентів (зокрема, жирових кульок) і утворенню стійкої гомогенної молочної емульсії. Ці ж гідроудари руйнують «довгі» молекули ароматичних з'єднань, усуваючи при цьому неприємний кормовий запах.

Основні переваги гідродинамічних установок для пастеризації (гомогенізації) харчових продуктів:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- суміщення в одній установці трьох процесів – змішування, пастеризації (з витримуванням, при необхідності) і гомогенізації, що значно здешевлює процес виробництва харчових продуктів - на 40 - 60 %;

- ККД - не нижче 90 %, що забезпечує високу економічність обладнання;

можливість застосовувати установки при виробництві комбінованих (з рослинним жиром) молочних продуктів, відновлених соків, напоїв, що містять сік та ін.;

- відсутність конвективних поверхонь нагрівання дає можливість уникнути відкладень молочного каменю та пригорання молочних та ін. продуктів, що є неминучим у всіх апаратах - аналогах, в тому числі в інфрачервоних пастеризаторах;

- можлива пастеризація молока з кислотністю вище 18°Т;

- підвищена ступінь готовності установки дозволяє здійснити її монтаж та введення в експлуатацію на протязі одного робочого дня;

- низькі енерговитрати - 10 кВт·год. на пастеризацію 1 т продукту (цей же показник для інфрачервоних нагрівачі складає 15-18 кВт·год.), можливість комплексного використання придбаних установок: для створення необхідних теплових режимів на технологічному обладнанні (ваннах ВДП, технологічних ємностях з тепловою «рубашкою», заквасочниках та ін.), отримання теплої води та мокрої пари для побутових потреб та ін.

- можливість використання установок для миття технологічного обладнання;

- екологічна чистота.

В даній схемі рис. 2.14, для технологічного процесу пастеризації молока викорис-товується 200 кг пару тиском 1,4 мПа, з коефіцієнтом перетворення 1,344, що відповідає енергії 269 кВт·год.

Тривалість зміни - 8 годин, кількість технологічних циклів - 7, тривалість підготовчого циклу виробництва - 1 година. Кількість змін на добу -1,

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількість робочих днів в році - 365.

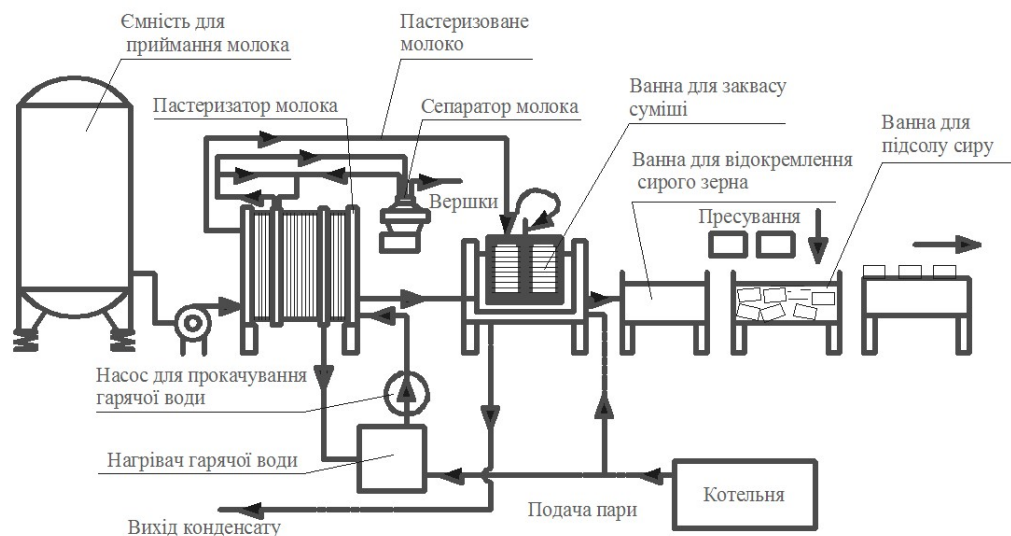


Рис. 2.14. Традиційна схема пастеризації молока

Запропонована схема пастеризації показана на рис. 2.15.

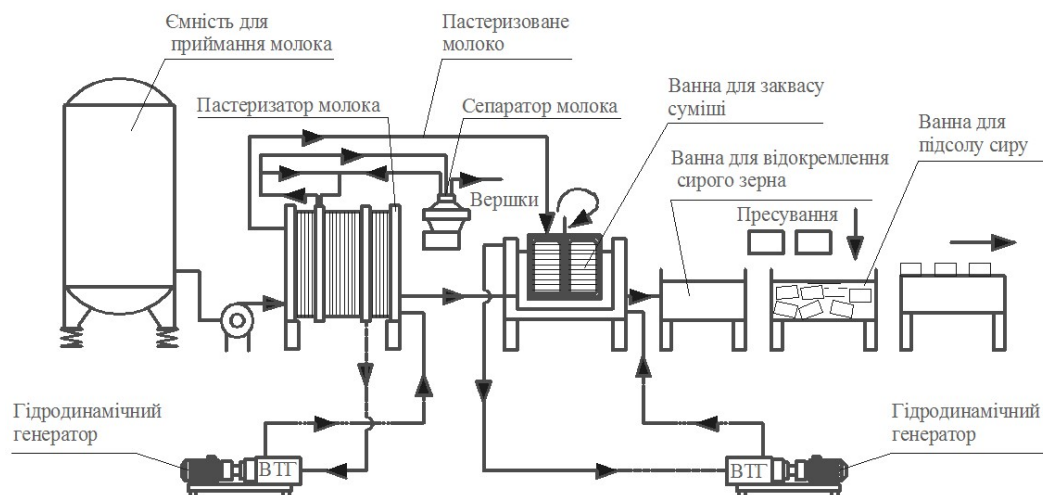


Рис. 2.15. Пропонована схема пастеризації молока

Основна відмінність між двома схемами полягає в способі отримання пари для технологічного процесу, в першому випадку це котельня, в другому це два гідродинамічні теплогенератори, характеристика яких наведена в таблиці 2.6.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, як вже було сказано вище в традиційній схемі на технологічний процес пастеризації витрачається 269 кВт·год., електричної енергії, вартість електроенергії складе, приймаючи тариф на електроенергію 0,4359 за 1 кВт·год., отримаємо, що за один цикл роботи споживання складе – $269 \times 0,4359 = 117$ грн., а за зміну 936 грн.

Враховуючи продуктивність підприємства в запропонованій схемі ми вибираємо два гідродинамічні теплогенератори марки ТЕК - 4ПГ сумарне споживання електроенергії при максимальному завантаженні складе 104 кВт·год., на 1 тону переробленої продукції, таким чином установка ТЕК - 4ПГ за один цикл роботи використає електроенергії на суму 45 грн., а за зміну 360 грн.

Якщо порахувати тільки вартість електричної енергії яка витрачається в схемах пастеризації то ефективність гідродинамічного теплогенератора в даній схемі пастеризації складає 576 грн., за одну зміну це без вартості експлуатаційних і амортизаційних відрахувань та вартості самої установки. Детальні розрахунки яких будуть представлені в третьому розділі дипломного проекту.

2.5.2. Ефективність впровадження вихрових теплогенераторів для автономного опалення і гарячого водопостачання

Різкий стрибок цін (і, як запевняють – не останній) на комунальні послуги нікого не залишив байдужим, адже кожен з нас є користувачем цих благ цивілізації. Усі пояснення непопулярних змін зводяться до одного: суттєве подорожчання енергоносіїв, які складають основний обсяг витрат у собі вартості житлово - комунальних послуг.

На потреби теплопостачання та ГВП у побутово-комунальній сфері витрачається третина енергоресурсів, також фактичне споживання води і теплової енергії значно перевищує санітарно-гігієнічні норми. В Україні експлуатуються 600 тисяч будинків, 70 тисяч є багатоповерховими, що споживають близько 40 % теплової енергії. На опалення житлового фонду

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щороку витрачається понад 70 млн. т у. п., тобто на одного мешканця припадає 1,4 т у. п. Це вдвічі більше, ніж у розвинутих країнах Європи. Найбільше на ці потреби витрачається природного газу, 75 % якого імпортується. Загальні втрати тепла при його транспортуванні від виробника до споживача сягають 30 - 50 % – величезний резерв енергії, який є можливість зберігати. Зараз ці втрати почали дещо скорочуватися завдяки впровадженню нових енергоощадних технологій та обладнання.

Вибір системи опалення - складне завдання. На даний момент на ринку систем опалення з'явилося багато різних установок для опалення. Одним з найсучасніших систем альтернативного опалення є вихровий теплогенератор. Вихрові теплогенератори мають багато переваг, основними серед яких є: економічність, безпека, надійність та простота експлуатації.

Звичайно, кожен спосіб опалення будинку має свої переваги і недоліки.

Характеристика будинку

Проект типового будинку котеджного типу виконаний за індивідуальним замовленням польською фірмою « Архипелаг ».

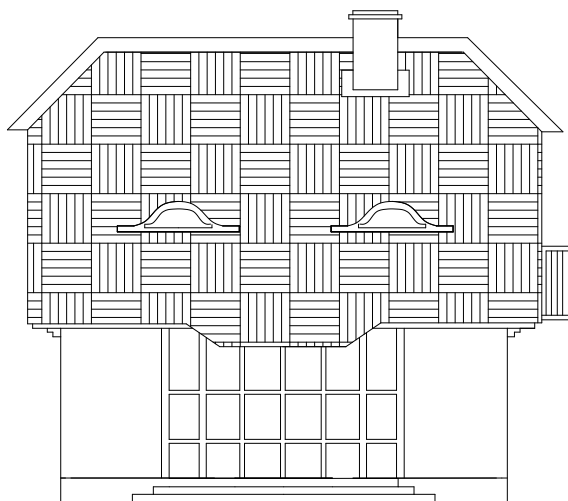
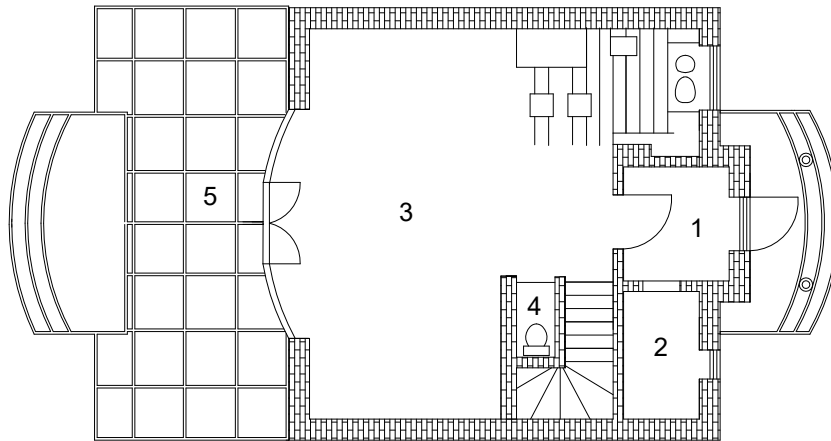


Рисунок 2.16. Загальний вигляд будинку

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

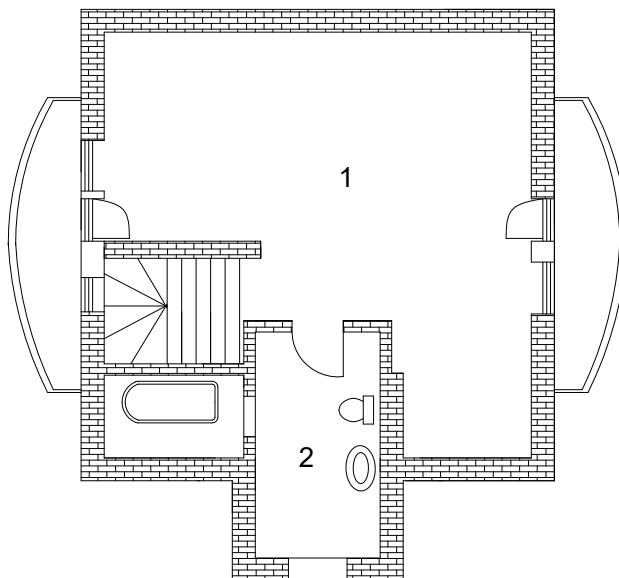
Основна характеристики будинку:

- Загальний об'єм приміщень – 236 м³;
- Калькуляційна площа – 104,6 м²;
- Площа забудови – 95 м².



1- коридор - 4,2 м²; 2- господарське приміщення - 4,6 м²; 3- кімната + кухня - 19,4 м²; 4- вбиральня - 1,4 м²; 5- веранда - 10 м².

Рисунок 2.17. Розріз першого поверху будинку



1- кімната - 24,3 м²; 2- вбиральня + ванна - 5,3 м²;

Рисунок 2.18. Розріз другого поверху будинку

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення в будинку - це простір, відділений від зовнішнього природного середовища огорожувальними конструкціями і призначений для проживання або виробничих потреб людини. Існує багато відомих традиційних та ще мало розповсюджених новітніх способів створення комфортних умов, підтримування в приміщеннях певної температури, вологості, чистоти повітря незалежно від кліматичних умов.

Більшість житлових будинків обладнана традиційними системами та джерелами опалення, призначеними створювати комфорт у приміщеннях. Але в даному дипломному проєкті ми розглянемо створення індивідуальної системи опалення яка має джерело опалення малої потужності.

Слід зазначити, що наш будинок побудований в першій кліматичній зоні (Тернопільська область), - ця інформація важлива при визначенні опору теплопередачі огорожуючих конструкцій, який і залежить від того, в якій кліматичній зоні провадяться будівельні роботи.

Розрахунок кількості теплогенераторів

Враховуючи параметри будинку і його загальну площу $S_{\zeta}=104,6 \text{ м}^2$, розрахункова норма енерговитрат на обігрів цегляних будинків в зимовий період в режимі пікового навантаження (на вулиці – 30 °С, в приміщенні + 18 °С) становить 1 кВт на 10 м² опалювальної площі, тоді теплова потужність яка потрібна на обігрів будинку буде становити 10,5 кВт.

Корисна ефективність генерування теплової енергії генератором знаходиться в межах 120 – 140 % стосовно спожитої електроенергії. Таким чином, для опалення генераторами, необхідна встановлена потужність електродвигунів генераторів складе 8,8 кВт.

Необхідно також врахувати потреби на ГВП, рівні 20 % встановленої потужності.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання більшої кількості генераторів меншої потужності, дозволяє створити систему опалення з оптимальним тепловим регулюванням.

Враховуючи всі викладені дані для облаштування системи опалення будинку ми виберемо два теплогенератори марки « ВТГ– 5,5 ДА – ХЛ» з дисковим модулем загальною потужністю 11 кВт, див. рис. 2. 19, характеристика яких представлена в таблиці 2.5.

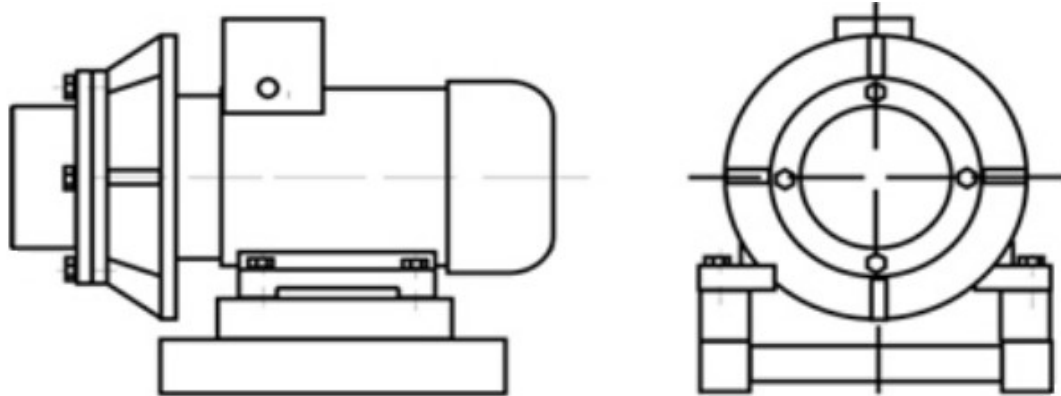


Рисунок 2.19. Загальний вигляд дискового вихрового генератора марки ВТГ– 5,5 ДА – ХЛ

Таблиця 2.5.

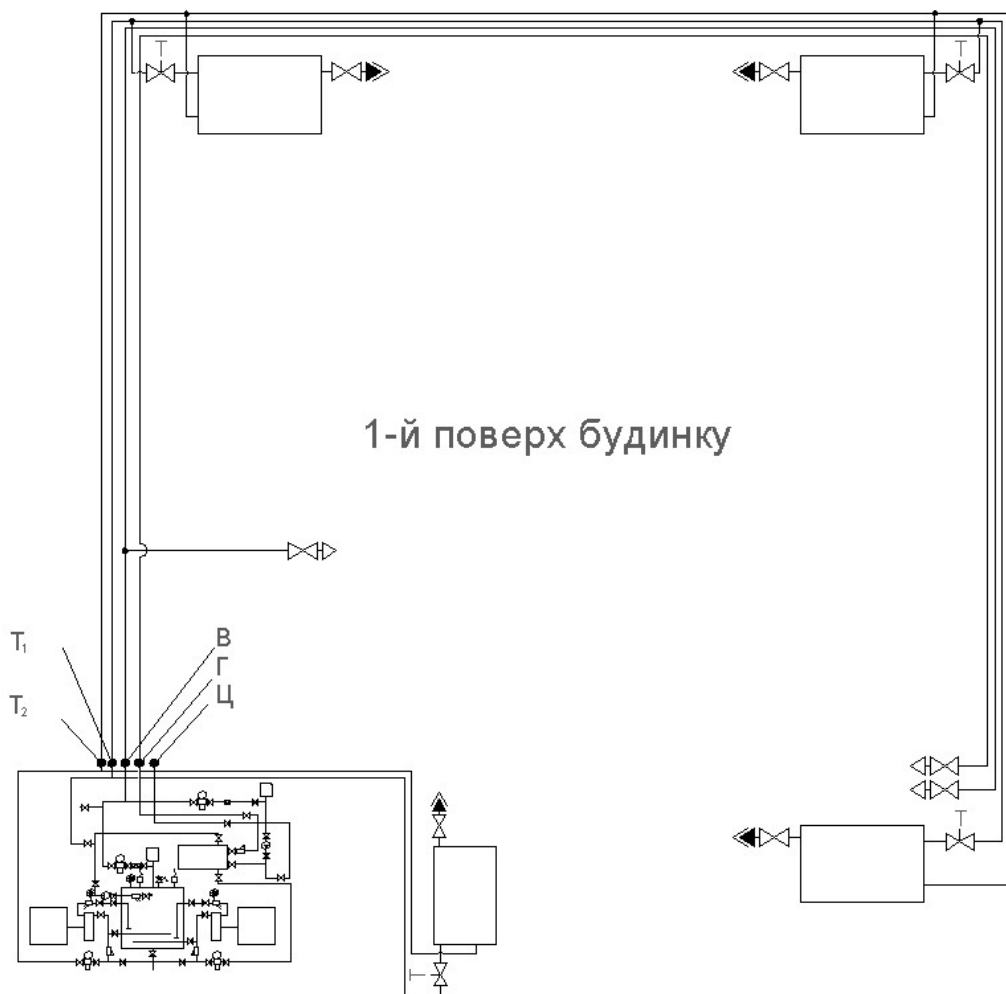
Основні технічні характеристики гідродинамічних теплогенераторів ВТГ– 5,5 ДА – ХЛ

Параметр	ВТГ– 5,5 ДА – ХЛ
Номінальна потужність двигуна, кВт	5,5
Напруга мережі, В	380
Частота обертів двигуна, об/хв.	2900
Теплова продуктивність, ккал/год.	4730
Опалювальна площа, м ²	100
Середні витрати електроенергії на опалення, кВт/год.	3
Робоча температура, °С	65 - 90
Витрати на гаряче водопостачання, м ³ /год., не менше	0,35
Габаритні розміри, мм	570×290×410
Маса теплогенератора, кг	95
Ціна, грн.	9000

Облаштування водяної системи опалення

Сьогодні, коли першочерговим завданням є економія паливно-енергетичних ресурсів, нові системи опалення рекомендується виконувати з помповою циркуляцією теплоносія.

В нашому житловому будинку ми використаємо більш енергоощадну помпову двотрубну систему з терморегуляторами на підводах до нагрівальних приладів (рис. 2.20, 2.21).



Г - трубопровід гарячої води; В - трубопровід холодної води; Т₁- трубопровід подачі води в систему опалення; Т₂- трубопровід зворотної води системи опалення; Ц - циркуляційний контур (для полотенцесушки) Т- термостатичний клапан.

Рисунок 2.20. Схема опалення та ГВП першого поверху

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- головний подавальний стояк від котла і зворотний трубопровід до котла 25мм (відповідно до діаметрів під'єднувальних патрубків на котлі);
- подавальний розвідний та збірний трубопроводи – 15мм;
- опускні стояки до нагрівальних приладів – 15мм.

Рисунок 2.21. Схема опалення та ГВП другого поверху

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

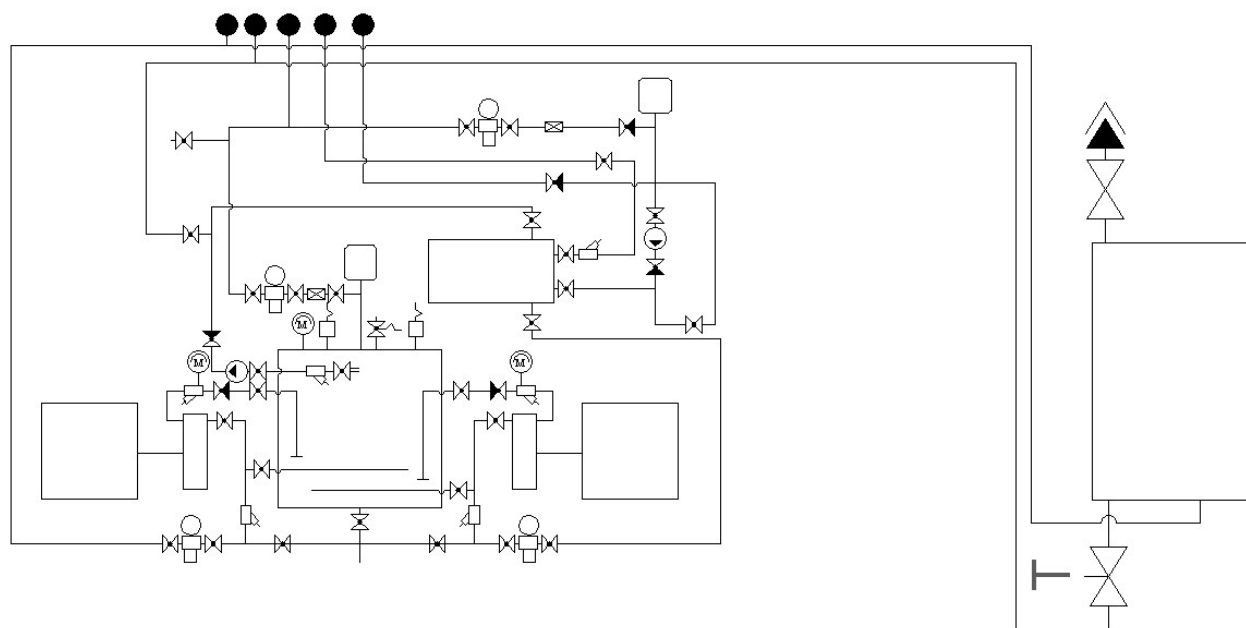


Рисунок 2.21 – Схема теплового пункту для системи опалення та ГВП будинку

Горизонтальні трубопроводи нашої системи опалення ми прокладати з нахилом за напрямком потоку теплоносія, величиною не менше 10 мм на одному погонному метрі труби. Це забезпечує видалення повітря із системи та спрощує в подальшому спускання води.

2.6. Висновки до розділу 2

1. Представлені основні етапи розвитку теплогенераторів.
2. Розглянуті основні групи та особливості роботи вихрових генераторів.
3. Відображені основні процеси вихрового руху в теплогенераторі.
4. Проведена кількісна оцінка ефективності дисипації механічної енергії рухомої рідини в круглому циліндричному каналі.
5. Розглянуті питання ефективності застосування теплогенераторів в промисловості, зокрема застосування в харчовій промисловості для пастеризації молока. Так, використання гідродинамічних теплогенераторів для

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пастеризації дозволяє покращити смакові властивості молочних продуктів завдяки подрібненню (диспергації) кавітаційними струмками високомолекулярних сполук, що присутні в молоці та молочних сумішах. Застосування в установках рекуперативного теплообмінника для попереднього підігріву молока на вході дозволяє значно знизити витрати електроенергії.

6. Ефективність гідродинамічного теплогенератора схемі пастеризації складає 576 грн., за одну зміну це без вартості експлуатаційних і амортизаційних відрахувань та вартості самої установки.

7. Розроблено систему теплопостачання і ГВП будинку загальною площею $S_{\text{г}} = 104,6 \text{ м}^2$, спроектовано систему опалення і ГВП під будинок котеджного типу та здійснено розрахунок всіх параметрів такої системи згідно характеристик обладнання та розміру будинку.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Опис типових програмних засобів використаних у магістерській роботі

3.1.1. Програма Word для Windows

Текстовий редактор Word є одним з найпоширеніших текстових редакторів. Це обумовлюється в першу чергу його численними перевагами, до яких у першу чергу належать широкі функціональні можливості. Текстовий редактор Word для Windows (далі просто Word) входить до групи програм Microsoft Office. Крім текстового редактора, ця група включає електронну таблицю Excel і систему управління базою даних Access, тобто основні програми, які можуть використовуватися для формування документообігу в установах. Широкому використанню Word сприяють також вбудовані в нього, засоби перетворення файлів, створених іншими текстовими редакторами, в файли формату Word і навпаки.

Для запуску Word слід виконати команду Пуск /Програми / Microsoft **Word**, після чого на екрані з'являється вікно редактора. Вікно редактора Word має декілька стандартних елементів. Одні з них постійно присутні на екрані, інші можна викликати за бажанням користувача.

В рядку заголовка виведено ім'я програми. Крім цього, в рядку заголовка є чотири кнопки: одна з лівого краю і три - з правого. Крайня ліва кнопка є кнопкою виклику управляючого меню. Праворуч розміщені відповідно кнопка згортання, відновлення та закриття вікна. Під рядком заголовка у вікні розміщується рядок меню, який містить такі пункти: **Файл** - робота з файлами документів; **Правка** - редагування документів; **Вид** - перегляд документів;

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА		
Розроб.	Лижник В.О.						
Перевір.	Зінь М.М.						
Консульт.	Зінь М.М.						
Н. контр.	Коваль В.П.						
Зав. каф.	Тарасенко М.Г.						
					Літ.	Лист	Листів
					ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		

Вставка - вставка в документ малюнків, діаграм, поточної дати і часу, формул та інших об'єктів; **Формат** - форматування документів (встановлення шрифтів, параметрів абзацу); **Сервис** - сервісні функції (перевірка орфографії, встановлення параметрів налаштування Word); **Таблица** - робота з таблицями; **Окно** - робота з вікнами документів; **?** - довідкова інформація про Word.

В підменю потрібний пункт може бути вибрано або за допомогою миші (встановити курсор миші на потрібний пункт і натиснути ліву кнопку), або за допомогою клавіатури (клавішами вертикального переміщення курсора вибрати потрібний пункт і натиснути клавішу [Enter]).

Під рядком меню розміщуються звичайно панелі інструментів. Панелі інструментів - це рядок кнопок, при натискуванні на які виконується певна дія. Для натискування кнопки слід клацнути мишкою по кнопці. При фіксації курсору миші на кнопці під нею з'являється її назва, а в рядку стану - коротка довідка про призначення кнопки. Ряд кнопок дублюють відповідні команди меню. Word забезпечує користувача декількома панелями інструментів. Вводити і редагувати можна тільки текст активного вікна.

Перед введенням символів слід вибрати шрифт, його розмір, формат. Символи клавіатури вводяться в позицію текстового курсора. Виділений фрагмент можна вилучити, перемістити, скопіювати. За таких операцій часто використовують буфер обміну Windows. Через цей буфер редактор Word може обмінюватись інформацією з іншими програмами, що працюють у середовищі Windows. Вилучити виділений фрагмент можна за допомогою команди **Правка/Вырезать** або кнопки **Удалить** панелі інструментів **Стандартная**. Вилучити виділений фрагмент можна і за допомогою клавіші [Del], але при цьому фрагмент у буфер обміну не заноситься. Вставка фрагменту з буферу обміну здійснюється командою **Правка/Вставить** або кнопки **Вставить** панелі інструментів **Стандартная**. Фрагмент вставляється в позицію текстового курсора. Скопіювати фрагмент можна за допомогою послідовно виконаних двох команд: **Правка/Копировать** і **Правка/Вставить**. Команди редагування

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діють і при роботі з документами в різних вікнах. Це дає змогу обмінюватись фрагментами тексту між різними документами.

Поля - це спеціальні фрагменти тексту, які розміщуються в документі і забезпечують автоматичне внесення в документ деякої інформації (дати, часу, назви документа і т.д.).

3.1.2. Програма «AUTO CAD»

Програма завантажує асоційовані файли що мають розширення *.dws* – файл шаблону із стандартними визначеннями об'єктів креслення.

Після запуску програми відкривається один із варіантів графічного інтерфейсу: в звичайному варіанті завантажується графічне вікно програми з шаблоном *Acadiso.dwt* (метричні одиниці вимірювання), який задає точність одиниць вимірювання з чотирма знаками після коми, ліміти креслення – тобто прямокутну границю зони креслення і крок сітки і дискретний рух курсору 10x10.

Під шаблоном *Auto Cad* розуміється малюнок що містить необхідні надбудови і використовується для створення інших малюнків.

Рядок заголовка. Містить назву програми та ім'я файлу який відкрили. В правій частині є три кнопки. Рядок меню, Стандартна панель інструментів і панель з списками що розкривається текстових і розмірних стилів. Рядок містить панель управління шарами і панель властивостей об'єктів, всі панелі плаваючі.

Самий нижній рядок графічного вікна називається рядок стану. В лівій частині цього рядка координати *X,Y,Z*. Положення курсору в зоні малювання вікна і в середній частині рядка знаходять кнопки, які управляють викликом прозорих команд. Прозорі команди запускаються за допомогою кнопок, які знаходяться на панелі інструментів або вводяться в командну строку з префіксом у вигляді символу апострофа. Після завершення прозорої команди відновляється робота поточної команди:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Grid – сітка

Snap – крок

Zoom – покажи

Вище над рядком стану знаходяться вікно команд, яке складається з трьох рядків що починається зі слова *Command*.

Ліворуч і праворуч від зони креслення встановлені плаваючі панелі інструментів призначені для виклику команд креслення і редагування створюваних об'єктів. Вікно має смуги прокрутки. На парвій межі зони креслення *Tool Palletes* – сервісні палітри яке за замовчуванням має три вкладки: піктограми малюнків, блоків, зразків штриховки. Довідкова система аналогічна довідковим системам інших програм.

Завершення роботи програми

Файл→Закрить

File→Close

Alt+F4.

3.1.3. Програма «Mathcad»

Математичний вираз у *Mathcad'i* є дійсно чудовим об'єктом: це - картинка-зображення на вашому екрані (або на папері, якщо ви друкуєте ваш робочий аркуш) і одночасно це - множина інструкцій для обчислення чогось. Ось чому редактор рівнянь *Mathcad'a* є унікальною сумішшю текстового процесора та генератора кодів, які покликані вірно представляти та правильно обчислювати вирази.

Кожне рівняння, текстовий абзац або графік у робочому аркуші *Mathcad'a* є окремим об'єктом, що зветься «*область*». Можна побачити ці області, вказавши покажчиком миші у порожньому місці екрана, а потім натиснувши її ліву кнопку та потягнувши у якійсь бік через рівняння, текст та графіки. Області, що зустрінуться на шляху будуть оточені прямокутниками зі

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сторонами з пунктирними лініями. Після того як ви селекували (вибрали) область за допомогою вказаної процедури, ви можете перемістити її у будь-яке місце вашого робочого аркуша. Ви також можете побачити області робочого аркуша, вибираючи команду «**Regions**» в меню «**View**». Світлі області будуть ясно виділятися на темному фоні. Ви також легко можете **видалити селектовані області**. Для цього треба виконати команду «**Cut**» в меню «**Edit**», або натиснути одноіменну кнопку  панелі редагування. При виконанні вказаної дії об'єкт, який видаляється, приміщується в буфер і може бути скопійований звідти у будь-яке місце робочого аркуша, вказане курсором, за допомогою команди «**Paste**» в меню «**Edit**». Це ж саме можна зробити, натиснувши одноіменну кнопку  панелі редагування. Описані процедури корисні при випадковому видаленні якоїсь області.

Для введення основних операторів користуйтеся клавішами «+», «-», «*», «/», «^» та/або кнопками арифметичної палітри, яку можна викликати, натиснувши одноіменну кнопку  математичної панелі.

Коли ви набираєте на клавіатурі символ двокрапки «:» (або, еквівалентно, натискаєте кнопку  на арифметичній палітрі), *Mathcad* виводить на екран символ «:□». Цей символ використовується у *Mathcad*'і як оператор присвоювання. Щоб побачити, чому дорівнює змінна «age», наберіть на клавіатурі її ім'я, а потім знак рівності: **age**□ .

Задавати області визначення змінних у *Mathcad*'і є обов'язковим. коли ви натиснете клавішу крапка з комою «;», то на екрані побачите дві крапки «..», а за ними мітку-заповнювач. Ці дві крапки є оператором області визначення змінної у *Mathcad*'і.

Щоб утворити графік функції у прямокутній (декартовій) системі координат, встановіть курсор-хрест у вільне місце вашого робочого аркуша і натисніть клавішу «@», або виберіть команду «**X-Y Plot**» в меню «**Insert/Graph**», або натисніть кнопку  на палітрі графіків.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Алгоритми програми розрахунку корегувального коефіцієнту потужності на мові програмування Microsoft Visual C 2008 Express Edition

	Ядро плану	Центр плану	
y1	0,01392123	0,011366607	17
y2	0,010396489	0,011027033	y18
y3	0,011447461	0,011265475	y19
y4	0,009604236	0,011268887	y20
y5	0,013953611	0,011174321	y21
y6	0,010509658	0,011273522	y22
y7	0,011318069	0,011014094	y23
y8	0,009329358		
y9	0,013048124		
y10	0,0104935		
y11	0,011059414		
y12	0,009620394		
y13	0,013128978		
y14	0,010299477		
y15	0,011059414		
y16	0,009296978		

Вивести значення результатів дослідів
 Проводимо розрахунок коефіцієнтів регресії
 $B0=0,0111685360869565$
 $B1=0,0012116$
 $B2=0,0008135$
 $B3=4,35E-05$
 $B4=0,0001546$
 $B12=0,0003325$
 $B13=4,14E-05$
 $B14=0,0001384$
 $B23=4,75E-05$
 $B24=7,17E-05$
 $B34=1,11E-05$
 $B123=1,72E-05$
 $B124=5,96E-05$
 $B134=3,33E-05$
 $B234=2,12E-05$
 $B1234=1,11E-05$
 Визначення середнього арифметичного значення параметру оптимізації в центрі плану
 $Y_{сер}=0,0111986$
 Визначення величини дисперсії
 $S_y^2=1,78865592488333E-08$
 Визначаємо помилку експерименту
 $S_y=0,000133740641724322$
 Проведемо перевірку значимості коефіцієнтів регресії
 Визначаємо значення дисперсії коефіцієнтів регресії
 $S^2=7,77676489079711E-10$
 Визначаємо довірчий інтервал для коефіцієнтів рівнянь регресії
 $\Delta B=6,8322786284672E-05$
 Виключимо з рівняння статистично не значимі коефіцієнти регресії, тобто ті значення яких менше за довірчий інтервал
 $B0=0,0111685360869565$

Рис.3.1. Вигляд робочого вікна розрахункової програми

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        int[] X1 = { 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
        int[] X2 = { 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
        int[] X3 = { 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
        int[] X4 = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
        double B0;

        double [] Y = new double[23];
        double[] B = new double[15];
        double Yi;
        double S2y;
        double YiminysB0;
        double Sy;
        double S2;
        double Bi;
        double[] Ymass = new double[23];
        double Sr;
        double Sad2;
        double Fp;
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            textBox24.Text = "Введіть значення результатів дослідів";
        }
    }
}
```

```

private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
{
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{textBox24.Text = "Введіть значення результатів дослідів" +
System.Environment.NewLine + "Проводимо розрахунок коефіцієнтів регресії";
B0 = 0;
Yi = 0;
S2y = 0;
YiminysB0 = 0;
Sy = 0;
S2 = 0;
Bi = 0;
Sr = 0;
Sad2 = 0;
Fp = 0;
double test=0;
double[] test1 = new double[23];;
Y[0] = double.Parse(textBox1.Text);
Y[1] = double.Parse(textBox2.Text);
Y[2] = double.Parse(textBox3.Text);
Y[3] = double.Parse(textBox4.Text);
Y[4] = double.Parse(textBox5.Text);
Y[5] = double.Parse(textBox6.Text);
Y[6] = double.Parse(textBox7.Text);
Y[7] = double.Parse(textBox8.Text);
Y[8] = double.Parse(textBox9.Text);
Y[9] = double.Parse(textBox10.Text);
Y[10] = double.Parse(textBox11.Text);

Y[11] = double.Parse(textBox12.Text);
Y[12] = double.Parse(textBox13.Text);
Y[13] = double.Parse(textBox14.Text);
Y[14] = double.Parse(textBox15.Text);
Y[15] = double.Parse(textBox16.Text);
Y[16] = double.Parse(textBox17.Text);
Y[17] = double.Parse(textBox18.Text);
Y[18] = double.Parse(textBox19.Text);
Y[19] = double.Parse(textBox20.Text);
Y[20] = double.Parse(textBox21.Text);
Y[21] = double.Parse(textBox22.Text);
Y[22] = double.Parse(textBox23.Text);
for (int i = 0; i <= 22; i++)
{test = test + Y[i];}
B0= test/23;
test=0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X1[i] • Y[i];
test=test+test1[i];}
B[0] = test / 16;
B[0] = Math.Round(B[0], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X2[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[1] = test / 16;
B[1] = Math.Round(B[1], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X3[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[2] = test / 16;
B[2] = Math.Round(B[2], 7);

```

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[3] = test / 16;
B[3] = Math.Round(B[3], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
    {test1[i] = X1[i] · X2[i] · Y[i];

test = test + test1[i];}
B[4] = test / 16;
B[4] = Math.Round(B[4], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X1[i] · X3[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[5] = test / 16;
B[5] = Math.Round(B[5], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X1[i] · X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[6] = test / 16;
B[6] = Math.Round(B[6], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{est1[i] = X2[i] · X3[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[7] = test / 16;
B[7] = Math.Round(B[7], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X2[i] · X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[8] = test / 16;
B[8] = Math.Round(B[8], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X3[i] · X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[9] = test / 16;
B[9] = Math.Round(B[9], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X1[i] · X2[i] · X3[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[10] = test / 16;
B[10] = Math.Round(B[10], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
    {test1[i] = X1[i] · X2[i] · X4[i] · Y[i];

test = test + test1[i];}
B[11] = test / 16;
B[11] = Math.Round(B[11], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X1[i] · X3[i] · X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[12] = test / 16;
B[12] = Math.Round(B[12], 7);
test = 0;

```

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X2[i] · X3[i] · X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[13] = test / 16;
B[13] = Math.Round(B[13], 7);
test = 0;
for (int i = 0; i <= 15; i++)
{test1[i] = X1[i] · X2[i] · X3[i] · X4[i] · Y[i];
test = test + test1[i];}
B[14] = test / 16;
B[14] = Math.Round(B[14], 7);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B0=" + B0);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B1=" + B[0]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B2=" + B[1]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B3=" + B[2]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B4=" + B[3]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B12=" + B[4]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B13=" + B[5]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B14=" + B[6]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B23=" + B[7]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B24=" + B[8]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B34=" + B[9]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B123=" + B[10]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B124=" + B[11]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B134=" + B[12]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B234=" + B[13]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B1234=" + B[14]);
test = 0;
Yi = 0;
for (int i = 16; i <= 22; i++)
{Yi = Y[i] + Yi;}
Yi = Yi / 7;

Yi = Math.Round(Yi, 7);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначення середнього
арифметичного значення параметру оптимізації в центрі плану" +
Environment.NewLine + "Yсер=" + Yi);
for (int i = 16; i <= 22; i++)
{S2y=S2y+ (Math.Pow((Y[i] - Yi),2));}
S2y = S2y / 6;
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначення величини
дисперсії" + Environment.NewLine + "Sy^2=" + S2y);
YiminysB0 = Math.Abs(Yi - B0);
Sy = Math.Sqrt(S2y);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначаємо помилку
експерименту" + Environment.NewLine + "Sy=" + Sy);
S2 = S2y / 23;
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Проведемо перевірку
значимості коефіцієнтів регресії");
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначаємо значення
дисперсії коефіцієнтів регресії"+Environment.NewLine +"S^2="+S2);
Bi= (2.45)*Math.Sqrt(S2);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначаємо довірчий
інтервал для коефіцієнтів рівнянь регресії" + Environment.NewLine + "ΔBi=" + Bi);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Виключемо з рівняння
статистично не значимі коефіцієнти регресії, тобто ті значення яких менше за
довірчий інтервал");
for (int i = 0; i <= 14; i++)
{if (Math.Abs(B[i])<=Math.Abs(Bi))
{B[i] = 0;}}
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B0=" + B0);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B1=" + B[0]);

```

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B2=" + B[1]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B3=" + B[2]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B4=" + B[3]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B12=" + B[4]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B13=" + B[5]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B14=" + B[6]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B23=" + B[7]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B24=" + B[8]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B34=" + B[9]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B123=" + B[10]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B124=" + B[11]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B134=" + B[12]);
        textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B234=" + B[13]);

textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "B1234=" + B[14]);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Для перевірки
адекватності рівняння визначаємо критерій Фішера");
for (int i = 0; i <= 22; i++)
{
    Ymass[i] = B0 + B[0] * X1[i] + B[1] * X2[i] + B[2] * X3[i] + B[3] * X4[i]
    + B[4] * X1[i] * X2[i] + B[5] * X1[i] * X3[i] + B[6] * X1[i] * X4[i] + B[7] * X2[i] *
    X3[i] + B[8] * X2[i] * X4[i] + B[9] * X3[i] * X4[i] + B[10] * X1[i] * X2[i] * X3[i] +
    B[11] * X1[i] * X2[i] * X4[i] + B[12] * X1[i] * X3[i] * X4[i] + B[13] * X2[i] * X3[i] *
    X4[i] + B[14] * X1[i] * X2[i] * X3[i] * X4[i];
    test1[i] = Math.Pow((Y[i] - Ymass[i]), 2);
    Sr = test1[i] + Sr;
}
Sad2 = Sr / 18;
Sad2 = Math.Round(Sad2, 15);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначаємо дисперсію
адекватності" + Environment.NewLine + "Sad^2=" + Sad2);
Fp = Sad2 / S2y;
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Визначаємо
розрахунковий критерій Фішера" + Environment.NewLine + "Fp=" + Fp);
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Порівнюємо отримане
значення з табличним" + Environment.NewLine + "Fт=3,9" );
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Так як розрахункове
значення менше табличного то можна признати рівняння адекватними");
textBox24.AppendText (Environment.NewLine+"Математична модель
для визначення коефіцієнту потужності" +Environment.NewLine + "K=" + (B0 - (B[0] / 4) * 8 - (B[1] / 4) * 8 - (B[2]
/ 0.0053) * 0.0105 - (B[3] / 0.0132) * 0.2105 + 4 * B[4] +(8 * 0.0105 / (4 * 0.0053)) * B[5] + (8 * 0.2105 / (4 * 0.0132)) *
B[6] + (8 * 0.0105 / (4 * 0.0053)) * B[7] + (8 * 0.2105 / (4 * 0.0132)) * B[8] + (0.0105 * 0.2105 / (0.0053 * 0.0132)) * B[9]
+ (8 * 8 * 0.0105 / (4 * 4 * 0.0053)) * B[10] + (8 * 8 * 0.2105 / (4 * 4 * 0.0132)) * B[11] + (8 * 0.2105 * 0.0105 / (4 * 0.0132
* 0.0053)) * B[12] + (8 * 0.2105 * 0.0105 / (4 * 0.0132 * 0.0053)) * B[13] + (8 * 8 * 0.2105 * 0.0105 / (4 * 4
* 0.0053 * 0.0132)) * B[14]). ToString() + "+" + (B[0] / 4). ToString() + "*Zp+" + (B[1] / 4). ToString() + "*Zc+" + (B[2]
/ 0.0053). ToString() + "*h+" + (B[3] / 0.0132). ToString() + "*b+" + (B[4] / 16). ToString() + "*Zp*Zc-" + (B[4] / 2).
ToString() + "*Zp-" + (B[4] / 2). ToString() + "*Zc+" + (B[5] / (4 * 0.0053)). ToString() + "*Zp*h-" + (B[5] * (0.0105 /
(4 * 0.0053))). ToString() + "*Zp-" + (B[5] * (8 / (4 * 0.0053))). ToString() + "*h+" + (B[6] / (4 * 0.0132)). ToString() +
"*Zp*b-" + (B[6] * (0.2105 / (4 * 0.0132))). ToString() + "*Zp-" + (B[6] * (8 / (4 * 0.0132))). ToString() + "*b+" + (B[7]
/ (4 * 0.0053)). ToString() + "*Zc*h-" + (B[7] * (0.0105 / (4 * 0.0053))). ToString() + "*Zc-" + (B[7] * (8 / (4 * 0.0053))).
ToString() + "*h+" + (B[8] / (4 * 0.0132)). ToString() + "*Zc*b-" + (B[8] * (0.2105 / (4 * 0.0132))). ToString() + "*Zc-"
+ (B[8] * (8 / (4 * 0.0132))). ToString() + "*b+" + (B[9] / (0.0053 * 0.0132)). ToString() + "*h*b-" + (B[9] * (0.2105 /
(0.0053 * 0.0132))). ToString() + "*h-" + (B[9] * (0.0105 / (0.0053 * 0.0132))). ToString() + "*b+" + (B[10] / (16 *
0.0053)). ToString() + "*Zp*Zc*h-" + ((B[10] * 8) / (16 * 0.0053)). ToString() + "*Zp*h-" + ((B[10] * 8) / (16 *
0.0053)). ToString() + "*Zc*h-" + ((B[10] * 0.0105) / (16 * 0.0053)). ToString() + "*Zp*Zc+" + ((B[10] * 0.0105 * 8) /
(16 * 0.0053)). ToString() + "*Zp+" + ((B[10] * 0.0105 * 8) / (16 * 0.0053)). ToString() + "Zc+" + ((B[10] * 8 * 8) / (16
* 0.0053)). ToString() + "h+" + (B[11] / (16 * 0.0132)). ToString() + "*Zp*Zc*b-" + ((B[11] * 8) / (16 * 0.0132)).
ToString() + "*Zp*b-" + ((B[11] * 8) / (16 * 0.0132)). ToString() + "*Zc*b-" + ((B[11] * 0.2105) / (16 * 0.0132)).
ToString() + "*Zp*Zc+" + ((B[11] * 0.2105 * 8) / (16 * 0.0132)). ToString() + "*Zp+" + ((B[11] * 0.2105 * 8) / (16 *
0.0132)). ToString() + "Zc+" + ((B[11] * 8 * 8) / (16 * 0.0132)). ToString() + "b+" + (B[12] / (4 * 0.0053 * 0.0132)).
ToString() + "*Zp*h*b-" + ((B[12] * 0.2105) / (4 * 0.0053 * 0.0132)). ToString() + "*Zp*h-" + ((B[12] * 8) / (4 * 0.0053
* 0.0132)). ToString() + "*h*b-" + ((B[12] * 0.0105) / (4 * 0.0053 * 0.0132)). ToString() + "*Zp*b+" + ((B[12] * 0.0105
* 8) / (4 * 0.0053 * 0.0132)). ToString() + "*b+" + ((B[12] * 0.2105 * 8) / (4 * 0.0053 * 0.0132)). ToString() + "h+" +
((B[12] * 0.0105 * 0.2105) / (4 * 0.0053 * 0.0132)). ToString() + "Zp+" + (B[13] / (4 * 0.0053 * 0.0132)). ToString() +

```

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

""Zc*h*b-" + ((B[13] · 0.2105) / (4 · 0.0053 · 0.0132)). ToString() + ""Zc*h-" + ((B[13] · 8) / (4 * 0.0053 · 0.0132)).
ToString() + ""h*b-" + ((B[13] · 0.0105) / (4 · 0.0053 * 0.0132)). ToString() + ""Zc*b+" + ((B[13] · 0.0105 · 8) / (4 ·
0.0053 * 0.0132)). ToString() + ""b+" + ((B[13] · 0.2105 · 8) / (4 · 0.0053 · 0.0132)). ToString() + "h+" + ((B[13] ·
0.0105 · 0.2105) / (4 · 0.0053 · 0.0132)). ToString() + "Zc+" + (B[14] / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() +
""Zp*Zc*h*b-" + ((B[14] · 0.0105) / (4 · 4 * 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zp*Zc*b-" + ((B[14] · 0.2105) / (4 · 4 ·
0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zp*Zc*h-" + ((B[14] · 0.0105 · 0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() +
""Zp*Zc-" + ((B[14] · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zc*h*b+" + ((B[14] · 8 · 0.0105) / (4 · 4 · 0.0053
+ 0.0132)). ToString() + ""Zc*b+" + ((B[14] · 8 · 0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zc*h-" + ((B[14]
· 0.0105 · 8 · 0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zc-" + ((B[14] · 8) / (4 * 4 · 0.0053 + 0.0132)).
ToString() + ""Zp*h*b+" + ((B[14] · 0.0105 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zp*b+" + ((B[14] · 0.2105
· 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""Zp*h-" + ((B[14] · 0.0105 · 0.2105 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)).
ToString() + ""Zp+" + ((B[14] · 8 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""h*b-" + ((B[14] · 64 · 0.0105) / (4 · 4
· 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""b-" + ((B[14] · 0.2105 · 64) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132)). ToString() + ""h");
textBox24.AppendText(Environment.NewLine + "Проведемо
перетворення й спростимо рівняння" + Environment.NewLine + "K=" + (B0 - (B[0] / 4) · 8 - (B[1] / 4) · 8 - (B[2] /
0.0053) · 0.0105 - (B[3] / 0.0132) · 0.2105 + 4 · B[4] + (8 * 0.0105 / (4 · 0.0053)) · B[5] + (8 · 0.2105 / (4 · 0.0132)) ·
B[6] + (8 · 0.0105 / (4 * 0.0053)) · B[7] + (8 · 0.2105 / (4 · 0.0132)) · B[8] + (0.0105 · 0.2105 / (0.0053 * 0.0132)) ·
B[9] + (8 · 8 · 0.0105 / (4 · 4 · 0.0053)) · B[10] + (8 · 8 · 0.2105 / (4 · 4 * 0.0132)) · B[11] + (8 · 0.2105 · 0.0105 / (4 ·
0.0132 · 0.0053)) · B[12] + (8 · 0.2105 * 0.0105 / (4 · 0.0132 · 0.0053)) · B[13] + (8 · 8 · 0.2105 · 0.0105 / (4 · 4 ·
0.0053 · 0.0132)) · B[14]). ToString() + "+" + ((B[0] / 4) - (B[4] / 2) - ((B[5] · 0.0105) / (4 * 0.0053)) - ((B[6] · 0.2105)
/ (4 · 0.0132)) + ((B[10] · 0.0105 · 8) / (16 · 0.0053)) + ((B[11] · 0.2105 · 8) / (16 · 0.0132)) + ((B[12] · 0.0105 ·
0.2105) / (4 · 0.0053 * 0.0132)) - ((B[14] · 0.0105 · 0.2105 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zp+" +
((B[1] / 4) - (B[4] / 2) - ((B[7] · 0.0105) / ((4 · 0.0053))) - ((B[8] · 0.2105) / ((4 · 0.0132))) + ((B[10] · 0.0105 · 8) / (16
· 0.0053)) + ((B[11] · 0.2105 · 8) / (16 * 0.0132)) + ((B[13] · 0.0105 · 0.2105) / (4 · 0.0053 · 0.0132)) - ((B[14] ·
0.0105 · 8 * 0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zc+" + ((B[2] / 0.0053) - (B[5] · (8 / (4 · 0.0053))) -
(B[7] · (8 / (4 · 0.0053))) - (B[9] · (0.2105 / (0.0053 · 0.0132))) + ((B[10] · 8 · 8) / (16 · 0.0053)) + ((B[12] · 0.2105 · 8)
/ (4 · 0.0053 · 0.0132)) + ((B[13] · 0.2105 · 8) / (4 · 0.0053 · 0.0132)) - ((B[14] · 0.2105 · 64) / (4 · 4 · 0.0053 +
0.0132))). ToString() + ""h+" + ((B[3] / 0.0132) - (B[6] · (8 / (4 · 0.0132))) - (B[8] · (8 / (4 · 0.0132))) - (B[9] · (0.0105
/ (0.0053 · 0.0132))) + ((B[11] · 8 · 8) / (16 · 0.0132)) + ((B[12] · 0.0105 · 8) / (4 · 0.0053 · 0.0132)) + ((B[13] · 0.0105
· 8) / (4 · 0.0053 * 0.0132)) - ((B[14] · 8 · 8 · 0.0105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""b+" + ((B[4] / 16) -
((B[10] · 0.0105) / (16 · 0.0053)) - ((B[11] · 0.2105) / (16 · 0.0132)) + ((B[14] · 0.0105 · 0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 +
0.0132))). ToString() + ""Zp*Zc+" + ((B[5] / (4 · 0.0053)) - ((B[10] · 8) / (16 · 0.0053)) - ((B[12] · 0.2105) / (4 ·
0.0053 · 0.0132)) + ((B[14] · 0.2105 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zp*h+" + ((B[6] / (4 · 0.0132)) -
((B[11] · 8) / (16 · 0.0132)) - ((B[12] · 0.0105) / (4 · 0.0053 · 0.0132)) + ((B[14] · 0.0105 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 +
0.0132))). ToString() + ""Zp*b+" + ((B[7] / (4 * 0.0053)) - ((B[10] · 8) / (16 · 0.0053)) - ((B[13] · 0.2105) / (4 · 0.0053
· 0.0132)) + ((B[14] · 8 · 0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zc*h+" + ((B[8] / (4 * 0.0132)) - ((B[11]
· 8) / (16 · 0.0132)) - ((B[13] · 0.0105) / (4 · 0.0053 · 0.0132)) + ((B[14] · 8 · 0.0105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))).
ToString() + ""Zc*b+" + ((B[9] / (0.0053 · 0.0132)) - ((B[12] · 8) / (4 · 0.0053 · 0.0132)) - ((B[13] · 8) / (4 · 0.0053 *
0.0132)) + ((B[14] · 8 · 8) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""h*b+" + ((B[10] / (16 · 0.0053)) - ((B[14] ·
0.2105) / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zp*Zc*h+" + ((B[11] / (16 · 0.0132)) - ((B[14] · 0.0105) / (4 · 4 ·
0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zp*Zc*b+" + ((B[12] / (4 · 0.0053 · 0.0132)) - ((B[14] · 8) / (4 · 4 · 0.0053 +
0.0132))). ToString() + ""Zp*h*b+" + ((B[13] / (4 · 0.0053 · 0.0132)) - ((B[14] · 8) / (4 * 4 · 0.0053 + 0.0132))).
ToString() + ""Zc*h*b+" + ((B[14] / (4 · 4 · 0.0053 + 0.0132))). ToString() + ""Zp*Zc*h*b");}
private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}
private void label14_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

```

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Теоретичне обґрунтування понять «економічна ефективність та економічний ефект»

В економіці одним із основних понять є «економічна ефективність» господарських заходів. Господарськими заходами можуть вважатися:

- ✓ впровадження нової техніки;
- ✓ інвестиційний проект;
- ✓ укладення комерційної угоди;
- ✓ реалізація будь-якого господарського рішення;
- ✓ здійснення природоохоронних заходів;
- ✓ проведення соціальних заходів, спрямованих на підвищення добробуту людей, поліпшення інфраструктури, формування культурних цінностей та ін.

Загальними для всіх цих заходів є два моменти:

⇒ по-перше, всі вони спрямовані на досягнення конкретного результату (соціального або економічного);

⇒ по-друге, всі вони потребують витрат коштів (або інших ресурсів).

Теорія ефективності чітко розмежовує поняття ефекту й ефективності, розуміючи під першим результат заходу, а під другим – співвідношення ефекту і витрат, що його викликали. Ефект (від лат. effectus – виконання, дія) означає результат, наслідок певних причин, дій. Ефект може вимірюватися в матеріальному, соціальному, грошовому вираженнях. Зокрема, ефект може оцінюватися обсягом додатково виробленої чи спожитої продукції (тобто

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лижник В.О.			РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ				Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Зінь М.М.									
Консульт.		Малюта Л.Я.									
Н. контр.		Коваль В.П.									
Зав. каф.		Тарасенко М.Г									
ТНТУ, ФПТ, ЕММ - 61											

штуками, кубічними або квадратними метрами, тоннами тощо), показниками поліпшення здоров'я населення (наприклад, зниженням захворюваності або смертності, виробничого травматизму, підвищенням середньої тривалості життя) тощо. У тому випадку коли зазначені результати отримують грошову оцінку, говорять про економічний ефект. Економічний ефект – виражений у вартісній (грошовій) формі результат будь-яких дій (зокрема, зазначених вище господарських заходів).

У тому випадку, якщо згадані результати впливають не тільки на суто виробничу сферу, але й обумовлюють зміни, пов'язані з впливом на здоров'я або умови життєдіяльності людини, прийнято говорити про соціально-економічний ефект. Якщо ці зміни стосуються природоохоронної сфери, використовують вираз «еколого-економічний ефект».

Якщо результати економічної діяльності перевищують витрати, говорять про позитивний (додатний) ефект (зокрема, підприємство отримує прибуток), у протилежному разі – про негативний (від'ємний) ефект (збитки, шкода, втрати та ін.)

Ефективність визначається відношенням результату (ефекту) до витрат, що забезпечили його отримання.

Ефективність розкриває характер причинно-наслідкових зв'язків виробництва. Вона показує не сам результат, а те, якою ціною він був досягнутий. Тому ефективність найчастіше характеризується відносними показниками, що розраховуються на основі двох груп характеристик (параметрів) – результату і витрат. Це, втім, не виключає використання в системі показників ефективності і самих абсолютних значень вихідних параметрів.

Економічна ефективність визначає ступінь використання ресурсів або витрат в суспільному виробництві. В широкому розумінні ефект - це результат, наслідок яких-небудь конкретних дій, причин, сил. Під ефектом розуміють сукупні результати, одержані від реалізації певних інженерних рішень.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Економічна ефективність – це вид ефективності, що характеризує результативність діяльності економічних систем (підприємств, територій, національної економіки). Основною особливістю таких систем є вартісний характер засобів (видатків, витрат) досягнення цілей (результатів), а в деяких випадках і самих цілей (зокрема, одержання прибутку).

Розрізняють такі форми економічної ефективності: загальна (абсолютна, повна) та порівняльна.

Загальна економічна ефективність виражає співвідношення кінцевих економічних результатів і витрат (капітальних вкладень), що забезпечили одержання цього ефекту. Загальну економічну ефективність прийнято визначати як ефективність капітальних вкладень. Її розрахунки виконують у відповідності з «Типовою методикою визначення економічної ефективності капітальних вкладень», яка встановлює мету розрахунків, показники та критерії ефективності, склад і порядок визначення економічного ефекту та витрат. Розрахункові величини показників порівнюють з нормативами.

У якості критерію ефективності в розрахунках приймають термін окупності капітальних вкладень, який розраховують за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K_H}{\sum E_{рлч}}, \text{роки} \quad (4.1)$$

де: K_H – капітальні вкладення для нового варіанту, тис.грн;

$E_{рлч}$ – річний економічний ефект від впровадження заходу.

4.2. Економічне обґрунтування інженерних рішень

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) дає змогу оцінити сукупність різноманітних технічних аспектів інвестиційного проекту та зробити відповідні висновки про техніко-технологічну, економічну обґрунтованість запропонованих проектних рішень. Інвестор не може ігнорувати цього етапу інвестиційного проектування, оскільки саме на ньому можна з'ясувати можли-

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вість технічного здійснення проекту з прийнятним рівнем витрат. Перед виділенням коштів на таке обґрунтування доцільно з метою мінімізації витрат на ТЕО здійснити попереднє оцінювання ідеї проекту за допомогою попереднього обґрунтування. Витрати на попереднє ТЕО становлять 0,25 – 1,5 % загальної вартості інвестиційного. ТЕО для невеликих промислових проектів становить до 3 % загальної вартості проекту; ТЕО у сфері великої промисловості або для проектів з дослідними технологіями чи складними ринками – 2 – 10 % .

Попереднє обґрунтування є проміжною стадією між вивченням проектних можливостей і докладним техніко-економічним обґрунтуванням. ТЕО повторює основні питання попереднього ТЕО, але більш детально опрацьовуються всі його розділи та аналізуються проектні альтернативи для головних компонентів обґрунтування.

Економічне обґрунтування інженерних рішень має певні особливості, тому повинно проводитись з врахуванням наступних вимог і умов:

1. Великомасштабні інженерні рішення мають міжгалузевий чи галузевий характер. Тому необхідно детально скласти схему їх міжгалузевих зв'язків для визначення загальної суми одноразових та поточних витрат по всіх організаціях, пов'язаних з кожним проектом.

2. Економічне обґрунтування інженерних рішень не повинне обмежуватись розрахунками ефекту, який буде одержано в рік завершення впровадження всього проекту. Такі розрахунки слід виконувати щорічно за тривалий період та визначити інтегральний ефект.

3. Розрахунок очікуваного інтегрального ефекту вимагає прогнозування рівня відповідних економічних показників на тривалий період, використовуючи методи екстраполяції даних.

4. Кожне інженерне рішення має свої особливості за обсягом впровадження, географією розміщення, структурою зв'язків тощо. Тому важливо підбирати аналоги для співставлення економічних показників при обґрунтуванні

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доцільності використання інновацій. Більш практичним вважають зосередження уваги на порівнянні різних варіантів конкретного інженерного рішення та виборі оптимального.

5. Визначення економічної ефективності варіанта інженерного рішення доцільно виконувати за допомогою спеціального балансового розрахунку, де капітальні вкладення відображають в часовому аспекті, поступовому переході в основні фонди з метою прискореного одержання доходу.

4.3. Розрахунок економічної доцільності впровадження системи опалення будинку з використанням вихрових теплогенераторів

Основними методами технічного прогресу є модернізація, реконструкція, автоматизація, впровадження інноваційних технологій.

Ефективність інновацій повинна перевірятись з допомогою техніко-економічних розрахунків. В якості узагальнених критеріїв порівняльної економічної ефективності використовують вартісні показники, зокрема капітальні вкладення, термін окупності, витрати на експлуатацію, приведені витрати, річний економічний ефект.

Результати розрахунків повинні показати, чи є економічно вигідним у даних умовах використання нової техніки і яким буде при цьому економічний ефект. Всі розрахунки ведуть з врахуванням вимог економічної та енергетичної ефективності.

На етапі проведення наукових досліджень та дослідно-конструкторських робіт завданням економічних розрахунків є обґрунтування вибору варіанту створення нової техніки.

У даному розділі приведено розрахунки які дають змогу визначити величину чи оцінити ефективність впровадження нової системи опалення будинку котеджного типу.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1.

Капітальні витрати на встановлення системи опалення з використанням вихрових теплогенераторів

№, п/п	Найменування	К-сть	Од.	Ціна, грн.	Сумарні витрати, грн.
1	ВТГ– 5,5 ДА – ХЛ	2	шт.	7000	14000
Радіатори					
3	Радіатори Purmo 500/600/22	4	шт.	1160	4640
4	Радіатори Purmo 600/600/22	3	шт.	1295	3885
5	Радіатори Purmo 800/600/11	1	шт.	565	565
6	Рушникосушка Install Project 500/700	1	шт.	828	828
7	Підключення радіаторів верхнє	8	шт.	51,50	414
8	Підключення радіаторів нижнє	8	шт.	58,50	468
Труба					
9	Труба металопластикова 16	116	м	11,40	1322,4
10	Труба металопластикова 20	5	м	19,65	98,25
Різне					
11	Розподільник	1	шт.	223	223
12	Мембранний бак ELBI AFV- 50,P max=8 Bar	1	шт.	538,50	538,50
13	Манометр ДМ 05063-600 кПа-2,5	1	шт.	36,50	36,50
14	Термоголовка MERA PNEFAL GM03-1BB	8	шт.	55,80	446,40
15	Фільтр	1	шт.	81,60	81,60
16	Інше			453,35	453,35
Всього капітальних вкладень (К₂)					28000

Обчислюємо річну потребу в електроенергії на опалення і ГВП будинку:

$$B = Q_{\text{кв}} b n \cdot 24, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} \quad (4.2)$$

де: $Q_{\text{кв}}$ – середні витрати електроенергії на опалення будинку, кВт;

$b = 0,860$ – номінальні витрати електроенергії на виробництво 1 кВт теплової енергії, кВт · год;

n – кількість днів опалювального сезону.

Згідно паспортних даних теплогенератора ВТГ– 5,5 ДА – ХЛ середні витрати електроенергії на опалення будуть становити 3 кВт/год. В запропо-

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нованій системі опалення буде встановлено два теплогенератори, тоді витрати електроенергії будуть рівними $Q_{\text{кв}} = 6 \text{ кВт} / \text{год}$.

Обчислюємо річну потребу в електроенергії на опалення і ГВП будинку:

$$B = 6 \cdot 0,860 \cdot 190 \cdot 24 = 23529,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Витрати на потреби опалення і ГВП протягом одного опалювального сезону становитимуть:

$$\sum_B = B \cdot C, \text{ грн.} / \text{рік} \quad (4.3)$$

де: C – вартість електроенергії за звичайним тарифом, $\text{грн} / \text{кВт} \cdot \text{год}$.

– при звичайному тарифі на електроенергію:

$$\sum_{\text{з}}^3 = 23529,6 \cdot 0,2436 = 5732 \text{ грн.} / \text{рік}$$

де: $0,2436$ – вартість електроенергії за звичайним тарифом, $\text{грн} / \text{кВт} \cdot \text{год}$.

– при диференційованому «нічному» тарифі:

$$\sum_{\text{д}}^{\text{д}} = 23529,6 \cdot 0,10 = 2353 \text{ грн.} / \text{рік}$$

де: $0,10$ – вартість електроенергії за диференційованим тарифом, $\text{грн} / \text{кВт} \cdot \text{год}$.

Розрахуємо споживання електричної енергії на опалення і ГВП згідно з нормованим значення із розрахунку 1 кВт на 10 м^2 .

$$B = 10 \cdot 0,860 \cdot 190 \cdot 24 = 39216 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$$

Витрати згідно цього варіанту становитимуть:

$$\sum_H = 39216 \cdot 0,2436 = 9553 \text{ грн.} / \text{рік}$$

Тоді річна економія від впровадження вихрових теплогенераторів становитиме:

$$\sum_{E_{\text{річ}}} = \sum_H - \sum_B, \text{ грн.} / \text{рік} \quad (4.4)$$

– при звичайному тарифі на електроенергію:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum_{E_{p1q}}^3 = 9553 - 5732 = 3821 \text{ грн./ рік}$$

$$T_{ок}^3 = \frac{28000}{3821} = 7 \text{ років}$$

– при диференційованому «нічному» тарифі:

$$\sum_{E_{p1q}}^D = 9553 - 2353 = 7200 \text{ грн./ рік}$$

$$T_{ок} = \frac{28000}{7200} = 3,8 \text{ роки}$$

За формулою 5.2 і 5.3 проведемо розрахунок витрат на опалення, протягом одного сезону, будинку з допомогою згадуваних в першому розділі систем опалення, котлів на: твердому та рідкому паливі, природному і зрідженому газі, а також електричних котлів за звичайним і диференційованим тарифами, дані занесемо в таблицю 5.2.

Обчислюємо річну потребу в електричній енергії на опалення і ГВП будинку при використанні електричного котла:

$$B = 11 \cdot 0,860 \cdot 190 \cdot 24 = 43137,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Витрати на потреби опалення і ГВП протягом одного опалювального сезону становитимуть:

– при звичайному тарифі на електроенергію:

$$\sum_B = 43137,6 \cdot 0,2436 = 10508 \text{ грн./ рік}$$

де: 0,2436 – вартість електроенергії за звичайним тарифом, $\text{грн/кВт} \cdot \text{год}$.

– при диференційованому тарифі:

$$\sum_B = 43137,6 \cdot 0,10 = 4314 \text{ грн./ рік}$$

де: 0,10 – вартість електроенергії за диференційованим тарифом, $\text{грн/кВт} \cdot \text{год}$.

Обчислюємо річну потребу в природному газі на опалення і ГВП будинку при використанні газового двохфункційного котла:

$$B = 10 \cdot 0,108 \cdot 190 \cdot 24 = 4925 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на потреби опалення і ГВП протягом одного опалювального сезону становитимуть:

$$\sum_B = 4925 \cdot 0,7320 = 3605 \text{ грн. / рік}$$

де: 0,7320 – вартість природного газу для споживачів в яких річний обсяг споживання газу не перевищує 6000 м³/рік.

Обчислюємо річну потребу в природному газі на опалення і ГВП будинку при використанні котла на зрідженому газі:

$$B = 3 \cdot 0,100 \cdot 190 \cdot 24 = 1596 \text{ кг / рік.}$$

Витрати на потреби опалення і ГВП протягом одного опалювального сезону становитимуть:

$$\sum_B = 1596 \cdot 3,9 = 6224 \text{ грн. / рік}$$

де: 3,9 – вартість зрідженого газу кг / рік.

Обчислюємо річну потребу в мазуті на опалення і ГВП будинку при використанні котла на рідкому паливі:

$$B = 12 \cdot 0,089 \cdot 190 \cdot 24 = 4870 \text{ кг/рік.}$$

Витрати на потреби опалення і ГВП протягом одного опалювального сезону становитимуть:

$$\sum_B = 4870 \cdot 1,55 = 7549 \text{ грн. / рік}$$

де: 3,9 – вартість зрідженого газу кг / рік.

Обчислюємо річну потребу в вугіллі на опалення і ГВП будинку при використанні котла на твердому паливі:

$$B = 9 \cdot 0,103 \cdot 190 \cdot 24 = 4227 \text{ кг/рік.}$$

Витрати на потреби опалення і ГВП протягом одного опалювального сезону становитимуть:

$$\sum_B = 4227 \cdot 0,600 = 2536 \text{ грн. / рік}$$

де: 0,600 – вартість вугілля кг / рік.

Таблиця 4.2.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок ефективності опалення приміщення різними системами і розрахунок витрат на опалення

	Котли					Вихровий тепло-генератор
	на твердому паливі	на рідкому паливі	на природном у газі	на зрідженом у газі	електричний	
Вид палива	вугілля	мазут	прир. газ	пропан-бутан	електроен.	електроен.
Час роботи год / доб.	24	24	24	24	24	24
Вартість одиниці палива, грн.	0,600	4,55	6,88	11,9	1,68/1,008	1,68/1,008
Витрати на опалення грн. / міс.	2536	7549	3605	6224	10508/4314	5735/2352

На рисунку 4.1. показно ефективність різних систем опалення з різними видами теплогенерувального обладнання.

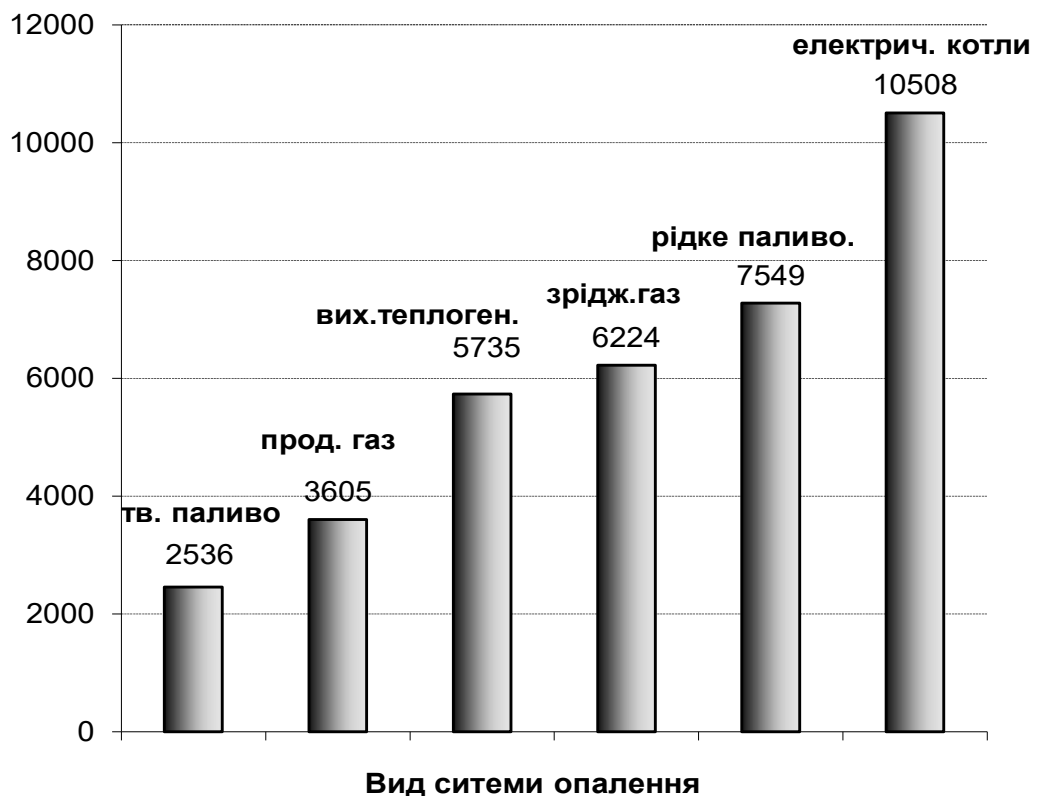


Рисунок 4.1. Ефективність застосування систем опалення з різними видами теплогенерувального обладнання

Отже, за витратами споживачів на паливо (електроенергію) вихрові генератори тепла займають третю позицію, після котлів на вугіллі та природному газі. Однак, вартість тепла для них можна значно здешевити, якщо поставити накопичувачі гарячої води і в нічний час, коли діє дешевий нічний тариф нагрівати воду для потреб в денний час. Для котлів на природному газі такий режим роботи не має економічної доцільності. І в цьому випадку опалення за допомогою вихрових теплогенераторів виявиться дешевшим від газового.

Наведені фактори та дані техніко-економічних розрахунків дають можливість зробити висновок про доцільність застосування для опалення і гарячого водопостачання вихрових генераторів тепла, особливо при використанні диференційованих тарифів.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Забезпечення безпечних умов праці в напружених режимах роботи

Можливості людини протистояти небезпеці визначаються ступенем її мотивації до праці і до її безпеки. Мотиви є тим психологічним фактором, який визначає чому людина в даній ситуації діє тільки так, а не інакше. Тому для розуміння причин, які спонукають людей свідомо йти на порушення правил безпеки, наражаючись при цьому на небезпеку, необхідно, насамперед, розкрити мотиви такої поведінки.

У процесі праці проявляються, в основному, мотиви вигоди та безпеки.

Мотив вигоди проявляється в отриманні нагороди за результати праці. Сюди входять матеріальна (заробітна плата, премія) і соціальна вигода (самоствердження, престиж, професійна гордість). Дуже важливо, щоб працівників систематично інформували про результати їх праці, і щоб ця інформація була своєчасною.

Мотив безпеки проявляється у прагненні уникнути небезпек, які виникають в процесі праці. Під небезпекою слід розуміти не тільки виробничі небезпеки, які загрожують здоров'ю та життю працівника, а й соціальні (зменшення заробітку, позбавлення премії, пониження в посаді, втрата авторитету, поваги тощо).

До безпечної роботи людину спонукає, перш за все, мотив самозбереження - прагнення зберегти себе від дії небезпек праці.

З точки зору безпеки праці особливої уваги заслуговує так званий конфлікт мотивів. Особливий інтерес викликає конфлікт між мотивом вигоди та мотивом

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Лижник В.О.						
Консульт.		Гурик О.Я.						
Консульт.		Клепчик В.М.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		
Н. контр.		Коваль В.П.						
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

безпеки праці, коли бажання заробити більше переважає над прагненням уникнути небезпечної ситуації. Треба зазначити, що в нашій країні безпека праці заохочується надто рідко.

Отже, в різних організаціях і установах треба шукати шляхи підкріплення і підсилення мотиву безпеки. Для цього необхідно:

- стимулювати матеріально і соціально безпечну працю;
- створювати психологічний клімат в колективі, при якому падіння авторитету через порушення правил безпеки зводило б до мінімуму матеріальні вигоди, які могли б бути досягнуті за рахунок порушень правил безпеки:

При оцінці ризиків щодо охорони праці в умовах функціонування ОДКП «Тернопільтеплокомуненерго» потрібно враховувати, що на підприємстві працюють:

- котли та кольне обладнання;
- силові трансформатори та підстанції;
- системи, що працюють під тиском;

Поточна оцінка стану охорони праці може бути визначена узагальненим коефіцієнтом рівня охорони праці K_{cn} , що є середньоарифметичним суми трьох коефіцієнтів:

$$K_{cn} = \frac{K_{\partial} + K_{\delta} + K_{\text{впр}}}{3} \leq 1 \quad (5.1)$$

де $K_{\partial} = \frac{C_{\partial}}{C}$ - коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці

(C_{∂} - кількість працюючих, що дотримуються правил охорони праці;

C - загальна кількість працюючих);

$K_{\delta} = \frac{n_{\delta\delta}}{n}$ - коефіцієнт технічної безпеки обладнання ($n_{\delta\delta}$ - кількість одиниць обладнання, що відповідає вимогам техніки безпеки і санітарним вимогам; n - загальна кількість обладнання);

$K_{\text{впр}} = \frac{m_{\text{ср}}}{m}$ - коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці;

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

m_{cp} - кількість фактично виконаних запланованих робіт з охорони праці;
 m - загальна кількість запланованих робіт за певний відрізок часу).

Розрахуємо коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці на котельні:

$$K_{\partial} = \frac{C_{\partial}}{C} = \frac{16}{16} = 1$$

Розрахуємо коефіцієнт технічної безпеки обладнання на котельні:

$$K_{\partial} = \frac{n_{\partial}}{n} = \frac{68}{68} = 1$$

Розрахуємо коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці:

$$\hat{E}_{\partial \partial} = \frac{m_{cp}}{m} = \frac{15}{9} = 1,6$$

Розрахуємо коефіцієнт рівня охорони праці на котельні:

$$\hat{E}_{\partial} = \frac{1+1+1,6}{3} = 1,2$$

Для забезпечення подальшого покращення стану охорони праці в підрозділах підприємства, при плануванні робіт в цій області на кожний наступний рік, орієнтуються на базовий коефіцієнт стану.

Оцінка вибухопожежонебезпеки котельні здійснюється один раз на рік і за результатами відповідного аналізу пожежонебезпеки будівель, приміщень, інших споруд, характеру технологічних процесів і пожеже-небезпечних властивостей речовин, що в них застосовуються з метою виявлення можливих обставин і причин виникнення вибухів і пожеж та їх наслідків, завод розпочинає свою роботу.

Таким чином, методика аналізу вибухопожежонебезпеки зводиться до виявлення і оцінки потенційних та наявних джерел запалювання, умов формування горючого середовища, умов виникнення контакту джерел запалювання та горючого середовища, умов та причин поширення вогню в разі виникнення пожежі або вибуху, наявності та масштабів імовірної пожежі,

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загрози життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, матеріальним цінностям.

Класифікація об'єктів за вибухопожежною та пожежною небезпекою здійснюється з урахуванням допустимого рівня їх пожежної небезпеки, а розрахунки критеріїв і показників її оцінки, в тому числі ймовірності пожежі (вибуху), з урахуванням маси горючих і важкогорючих речовин та матеріалів, що знаходяться на об'єкті, вибухопожежонебезпечних зон, які утворюються при нормальних режимах ведення технологічних процесів і в аварійних ситуаціях, та можливої шкоди для людей та збитків матеріальних цінностей.

5.2. Аналіз ризиків щодо охорони праці в умовах роботи вихрових генераторів тепла

Шум від роботи роторного теплогенератора, не голосніший шуму, що створює при своїй роботі звичайний відцентровий насос такої ж потужності, тобто, поруч із ним, можна спокійно розмовляти, не підвищуючи голосу.

Але роторний теплогенератор – це потужне джерело ультразвуку, який людина не чує. За даними патентів, інтенсивність ультразвуку в установках, досягає 1 МВт / м. Якщо врахувати, що площа поверхні цього апарата становить $\approx 0,5 \text{ м}^2$, то потужність ультразвуку який вона буде випромінювати в навколишнє середовище буде доходити до 500 кВт !. Енергія ультразвуку, що не поглинулася водою, теж в підсумку перетворюється в тепло яке нагріває повітря і стіни приміщення, в якому розміщений теплогенератор.

Настільки потужний ультразвук буде шкідливо позначатися на здоров'ї людей, що перебувають в одному приміщенні з теплогенератором, тим паче, що вони не будуть його чути. Тому теплогенератори варто встановлювати в нежилих приміщеннях, а при обслуговуванні суворо дотримуватись правил техніки безпеки як, при обслуговуванні радіаційно - небезпечних установок. Адже якщо потужність джерела ультразвуку навіть не 1 МВт / м, а всього 10 кВт, то на відстані 23 см від цього джерела щільність потоку ультразвукового поля буде

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягати величини $1,5 \text{ Вт} / \text{см}^2$, що вважається границею потужності ультразвуку середньої інтенсивності, що викликає пригнічення нервової системи людини. А на відстані 16 см від такого джерела буде досягтися границя щільності ультразвуку високої інтенсивності ($3 \text{ Вт} / \text{см}$) яка призведе до руйнування живих тканин організму.

Найкраще розташовувати теплогенератор в підвалі або окремому приміщенні (паливній) де підлога та стіни будинку, ізолюють людей від шкідливого випромінювання, вони одночасно є і звукоізоляцією. Адже захист від ультразвуку здійснюється аналогічно захисту від звичайного шуму - за допомогою вати, скловати, паролону, пінопласту. Якщо обмотати цими матеріалами корпус теплогенератора, то тим самим не тільки зменшаться втрати тепла в навколишнє середовище, але й істотно знизиться рівень ультразвукового шуму, який створюється теплогенератором, і не тільки, адже коли ультразвук гаситься теплоізоляційним покриттям, то енергія ультразвуку йде на його нагрівання, нагріваються ділянки, що безпосередньо прилягають до поверхні теплогенератора, в результаті частина тепла повертається в теплогенератор і йде на нагрівання води.

Через небезпеку ураження ультразвуком не рекомендується встановлювати гідродинамічні теплові генератори безпосередньо в квартирі.

В цілому вихрові генератори тепла досить безпечні вони не виділяють електролізний водень (як електродні котли) є пожеже- і вибухобезпечними.

5.3. Захист від шумів та вібрацій

Шум – це будь - який небажаний звук, який наносить шкоду здоров'ю людини, знижує його працездатність, а також може сприяти отриманню травми в наслідок зниження сприйняття. З фізичної точки зору – це хвильові коливання пружного середовища, що поширюються з певної швидкістю в газоподібній, рідкій або твердій фазі.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звукові хвилі виникають при порушенні стаціонарного стану середовища в наслідок впливу на них сили збудження и поширюючись у ньому утворюють звукове поле. Джерелами цих порушень бути механічні коливання конструкцій або їх частин, нестаціонарні явища в газоподібних або рідких середовищах.

Основними характеристиками таких коливань служить амплітуда звукового тиску (p , Па), частота (f , Гц).

Звуковий тиск – це різниця між миттєвим значенням повного тиску у середовищі при наявності звуку та середнім тиском в цьому середовищі при відсутності звуку. Поширення звукового поля супроводжується переносом енергії, яка може бути визначена *інтенсивністю звуку*.

За часовими характеристиками шуми поділяють на постійні і непостійні. Постійними вважають шуми, у яких рівень звуку протягом робочого дня змінюється не більше ніж на 5 дБА. Непостійні шуми поділяються на переривчасті, з коливанням у часі, та імпульсні. При переривчастому шумі рівень звуку може різко падати до фонового рівня, а довжина інтервалів, коли рівень залишається постійним і перевищує фоновий рівень, досягає 1 с та більше. При шумі з коливаннями у часі рівень звуку безперервно змінюється у часі. До імпульсних відносять шуми у вигляді окремих звукових сигналів тривалістю менше 1 с кожний, що сприймаються людським вухом як окремі удари.

Шкідливий вплив шуму на організм людини досить різноманітний. Реакція і сприйняття шуму людиною залежить від багатьох факторів: рівня інтенсивності, частоти (спектрального складу), тривалості дії, тимчасових параметрів звукових сигналів, стану організму.

Працюючі в умовах тривалого шумового впливу випробують зниження пам'яті, запаморочення, підвищену стомлюваність, дратівливість і ін. До об'єктивних симптомів шумової хвороби відносяться: зниження слухової чутливості, зміна функцій травлення, що виражається в порушенні кислотно-лужного балансу у шлунку, серцево-судинна недостатність. Відмічаються порушення зорового та у вестибулярному апараті. Встановлено, що загальна

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захворюваність робочих гучних виробництв вище на 10 – 15 %. Такі зрушення в роботі ряду органів і систем організму людини можуть викликати негативні зміни в емоційному стані людини, якість і безпека його праці.

Захист від шуму повинен здійснюватися розробкою шумобезпечної техніки, використанням методів та засобів колективного захисту та засобами індивідуального захисту.

Питання боротьби з шумом слід починати вирішувати ще при проектуванні устаткування. Для цього використовуються організаційні, технічні та медично профілактичні заходи.

До організаційних заходів відносяться раціональне розташування виробничих ділянок, устаткування та робочих місць, постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників, обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно гігієнічним вимогам.

Технічні заходи дають змогу значно зменшити вплив шуму на працівників і поділяються на заходи, що використовуються: в джерелі виникнення (конструктивні та технологічні), на шляху розповсюдження (звукоізоляція, звукопоглинання, глушники шуму, звукоізоляційні укриття), в зоні сприйняття (засоби колективного та індивідуального захисту).

Для зниження шуму необхідно насамперед використовувати конструктивні та технологічні методи, які в свою чергу залежать від походження звуку, конструктивних особливостей обладнання.

Способи зменшення шумів аеродинамічного та гідродинамічного походження:

- зменшення швидкості руху повітря та рідин, що забезпечує їх ламінарний режим течії;
- встановлення глушників, що вміщують звукопоглинаючі матеріали і поглинають звукову та коливальну енергію, що потрапляє на них;
- встановлення глушників, що подрібнюють потоки, зменшуючи таким

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чином їх енергію;

- спрямування потоку у зворотньому напрямку, що дає змогу взаємопоглинатися енергіям потоків прямого та зворотнього напрямків, які контактують через перетинку.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методів звукоізоляції та звукопоглинання.

Для поглинання аеродинамічних та гідродинамічних шумів застосовують такі типи глушників: активні й реактивні. Активні глушники застосовують у вигляді облицювальних матеріалів з середини повітро- та рідинопроводів, які поглинають імпульсні коливання повітря та рідин, що виникають при їх турбулентній течії. Реактивні глушники налаштовуються на найбільш інтенсивну складову шуму за частотою шляхом розрахунку та розміщення елементів глушника, які відбивають енергію. При цьому досягається зниження шуму на 20 - 30 дБ. Для отримання ефективного зниження шуму в широкому діапазоні частот застосовують комбіновані глушники.

В гідродинамічних установках (насоси, турбіни) слід запобігати виникненню кавітації, яка викликає гідродинамічний шум.

Можливе також пониження суб'єктивного сприйняття шуму за рахунок зсуву частотного спектра або в зону низьких частот, або в недоступну для людського слуху ультразвукову зону.

Таким чином, зменшення рівня шуму до допустимих величин і поліпшення шумового клімату в цілому – один із найважливіших заходів умов праці та охорони навколишнього середовища, і який має важливе соціальне й економічне значення.

5.4. Правила безпеки систем, що працюють під тиском

Посудини, що працюють під тиском, належать до обладнання підвищеної небезпеки. Залежно від умов роботи посудини поділяються на дві групи. Обладнання, що працює під тиском, підлягає технічному посвідченню до пуску

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в роботу, періодично в процесі експлуатації і, в необхідних випадках, – позачергово.

Посудини під тиском та їх запірні пристрої мають бути спроектовані, розраховані, виготовлені, випробувані та обладнані таким чином, щоб витримати будь-які навантаження, яким вони можуть піддатися за звичайних умов експлуатації та перевезення.

Під час проектування посудин під тиском необхідно враховувати всі відповідні фактори, такі як:

- внутрішній тиск;
- температура навколишнього середовища і робоча температура, у тому числі під час перевезення;
- динамічні навантаження.

Як правило, товщина стінок має визначатися шляхом розрахунків, включаючи, у разі необхідності, експериментальні дослідження напружень. Товщину стінок можна також визначати експериментальним шляхом.

Для забезпечення міцності посудин під тиском мають бути здійснені належні розрахунки конструкції корпусу посудин під високим тиском та опорних деталей.

Мінімальна товщина стінок, що дозволяє витримати тиск, повинна розраховуватися з урахуванням, зокрема:

- розрахункових тисків, які не мають бути менше випробувального тиску;
- розрахункових температур, за яких зберігається відповідний запас міцності;
- максимальних напружень та їх концентрацій, якщо це необхідно;
- факторів, пов'язаних із властивостями матеріалів.

Будь-які значення додаткового стовщення стінок для цілей забезпечення допуску на корозію не повинні братися до уваги у разі розрахунку товщини стінок.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1.

Класифікація посудин та апаратів першої групи, що працюють під тиском

Вид посудини	Робочий тиск, МПа	Температура середовища, °С	Умовно допустиме значення
Парові котли з об'ємом парового простору $V > 10$ л; ємкості, резервуари, цистерни, бочки, місткістю $V > 25$ л	$p > 0,07$	$t > 115$	$pV > 20$
Водогрійні котли з об'ємом водяного простору $V > 10$ л; посудини для води, місткістю $V > 25$ л	$p > 0,07$		$pV > 20$
Балони для стиснених, зріджених та розчинених газів, місткістю $V > 25$ л	$p > 0,07$		$pV > 20$

Технічне посвідчення посудин, що працюють під тиском, буває двох видів:

- зовнішній і внутрішній огляд - не рідше одного разу на 4 роки;
- гідравлічне випробування - не рідше одного разу на 8 років.

Технічне посвідчення посудин, що працюють під тиском, проводиться представником Держнаглядохоронпраці і представником підприємства. Обладнання, що не підлягає реєстрації, посвідчується технічним керівництвом підприємства або спеціально призначеною ним комісією з компетентних інженерно-технічних працівників.

Трубопроводи пари і гарячої води поділяються на чотири категорії залежно від робочих параметрів середовища. До категорій I, II, III належать трубопроводи з тиском 1,6 ... 3,9 МПа і температурою середовища 250...580 °С, до IV категорії – трубопроводи з температурою середовища 115... 250 °С та тиском 0,07... 1,6 МПа. Держнаглядохоронпраці контролює трубопроводи I категорії з умовним проходом більше 70 мм та трубопроводи II, III категорій з умовним проходом більше 100 мм. Технічне посвідчення цих трубопроводів проводиться Держнаглядохоронпраці у такі терміни:

- зовнішній огляд та гідравлічне випробування до початку експлуатації;
- зовнішній огляд - не рідше одного разу на 3 роки;

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зовнішній огляд та гідравлічне випробування після кожного ремонту з використанням зварювання, а також при пуску трубопроводів, що були на консервації більше 2 років.

Трубопроводи IV категорії та всі інші, що не відповідають наведеним вище параметрам, контролюють та випробують підприємства, що їх експлуатують, у встановленому порядку.

Гідравлічне випробування трубопроводів на міцність і щільність швів та з'єднань проводиться пробним тиском, який дорівнює 1,25 робочого.

5.5. Електробезпека

Всі вихрові теплогенератори працюють на електричному струмі промислової частоти 50 Гц і більшість з них розрахована на напругу 380 В. Тому розглянемо питання електробезпеки. Протікання струму через тіло людини супроводжується термічним, електролітичним та біологічним ефектами.

Термічна дія струму – полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи, що викликає опіки, обуглювання тканин та їх розриви парою. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору проходження струму та часу проходження. При короткочасній дії струму термічна складова може бути визначальною в характері і тяжкості ураження.

Електролітична дія – струму проявляється в розкладі органічної сечовини (її електролізі), в тому числі і крові, що призводить до зміни їх фізико-хімічних і біохімічних властивостей. Останнє, в свою чергу, призводить до порушення біохімічних процесів в тканинах і органах, які є основою забезпечення життєдіяльності організму.

Біологічна дія струму – проявляється у подразненні і збуренні живих тканин організму, в тому числі і на клітинному рівні. При цьому порушуються внутрішні біоелектричні процеси, що протікають в нормально функціонуючому організмі і пов'язані з його життєвими функціями. Збурення, спричинене

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подразнюючою дією струму, може проявлятися у вигляді мимовільного непередбачуваного скорочення м'язів. Це так звана пряма або безпосередня збуджуюча дія струму на тканини, по яких він протікає. Разом із цим, збуджуюча дія струму на тканини може бути і не прямою, а рефлекторною - через центральну нервову систему. Механізм такої дії полягає в тому, що збудження рецепторів (периферійних органів центральної нервової системи) під дією електричного струму передається центральній нервовій системі, яка перероблює цю інформацію і видає команди щодо нормалізації процесів життєдіяльності у відповідних тканинах і органах. При перевантаженні інформацією (збудженням клітин і рецепторів) центральна нервова система може видавати недоцільну, неадекватну інформації виконавчу команду.

Останнє може призвести до серйозних порушень діяльності життєво важливих органів, у тому числі серця та легенів, навіть коли ці органи не лежать на шляху струму.

Крім зазначеного, протікання струму через організм негативно впливає на поле біопотенціалів в організмі. Зовнішній струм, взаємодіючи з біострумами, може порушити нормальний характер дії біострумів на тканини і органи людини, подавити біоструми і тим самим викликати специфічні розлади в організмі.

5.6. Розрахунок стійкості роботи підприємств житлово - комунальної сфери в умовах надзвичайних ситуацій

За критерій стійкості роботи для підприємств комунальної сфери в умовах радіоактивного зараження (РЗ) приймається встановлена доза випромінювання $D_{вст}$, яку можуть отримати робітники і службовці за час роботи на зараженій місцевості.

Визначаємо максимальну дозу проникаючої радіації (ПР) $D_{пр}$ і рівень радіації, що очікується на об'єкті через одну годину після вибуху $P_{1\max}$, виходячи з потужності ядерного боезапасу, відстані від центру вибуху до об'єкта R_x , швидкості та напрямку середнього вітру на об'єкт.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відстань від центру вибуху до об'єкту рівна різниці між відстанню від центру вибуху до адміністративних будівель котельні та бойлерної R_r та ймовірним максимальним відхиленням від точки прицілювання $r_{\text{відх}}$:

$$R_x = R_r - r_{\text{відх}} = 12 - 0,4 = 11,6 \text{ км} \quad (5.2)$$

Для умов задачі знаходимо: $P_{1 \text{ max}} = 594 \text{ Р/год}$, $D_{\text{пр}} = 0 \text{ Р}$.

Висновок: Будівлі можуть опинитись в небезпечній зоні РЗ з максимальним рівнем радіації 594 Р/год . Дія ПР в районі адміністративних будівель не очікується.

Розраховуємо дозу випромінювання, яку можуть отримати робітники та службовці, знаходячись у виробничих та адміністративних будівлях і сховищах (для робочої зміни 13 год: $t_n = 1 \text{ год}$, $t_k = 12 \text{ год}$):

$$D = \frac{5 P_{1 \text{ max}} (t_n^{-0,2} - t_k^{-0,2})}{K_{\text{посл}}} \quad (5.3)$$

Коефіцієнт послаблення $K_{\text{посл}}$ для виробничих та адміністративних будівель визначається в залежності від їх конструкції; для сховищ розраховується за формулою:

$$K_{\text{посл}} = K_p \cdot \prod_{i=1}^n 2^{\frac{h_i}{d_i}} \quad (5.4)$$

де K_p – коефіцієнт розташування сховища, знаходиться в залежності від типу і умов розташування сховища, $K_p = 2$ для даної задачі;

h - товщина шару перекриття;

d - шар половинного послаблення радіації, залежить від матеріалу перекриття.

$$\hat{E}_{\text{дф.}} = 2 \cdot 2^{\frac{51}{5,7}} \cdot 2^{\frac{25}{8,1}} = 8386,12 \quad (5.5)$$

$$\hat{E}_{\text{вд}} = 2 \cdot 2^{\frac{51}{10}} \cdot 2^{\frac{25}{14,5}} = 226,6 \quad (5.6)$$

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\ddot{A}_{\delta\zeta} = \frac{5 \cdot 766 \cdot (1^{-0,2} - 13^{-0,2})}{7} = 1094,3 \text{ Д} \quad (5.7)$$

$$\ddot{A}_{\delta\zeta} = \frac{5 \cdot 594 \cdot (1^{-0,2} - 13^{-0,2})}{7} = 170 \text{ Д} \quad (5.8)$$

Визначаємо межу стійкості об'єкту до радіаційного зараження $P_{1 \text{ lim}}$, при якому можлива виробнича діяльність за один робочий день з однією повною зміною 8 год., і при цьому персонал не отримує дозу випромінювання, більшу за встановлену:

$$P_{1 \text{ lim}} = \frac{D_{\text{вст}} \cdot K_{\text{посл}}}{5 \cdot (t_n^{-0,2} - t_k^{-0,2})} = \frac{25 \cdot 7}{5 \cdot (1^{-0,2} - 13^{-0,2})} = 87 \text{ Р/год} \quad (5.9)$$

Визначаємо стан об'єкту до радіоактивного зараження:

$P_{1 \text{ lim}} < P_{1 \text{ max}}$ — об'єкт нестійкий до радіаційного зараження.

Встановлюємо наявність на об'єкті матеріалів, чутливих до проникаючої радіації та радіаційного випромінювання.

Таблиця 5.2

Оцінка роботи котельні в умовах радіаційного забруднення

Елемент	Х-ка будівель та споруд	Коеф. послабл. $K_{\text{посл}}$		Доза опромінення P		Межа стійкості в умовах РЗ, Р/год
		Від ПР	Від РЗ	Від ПР	Від РЗ	
Котельня	одноповерхове, бетонне, розташоване в районі забудови	—	7	—	170	87
Бойлерна	одноповерхове, бетонне, розташоване в районі забудови	—	7	—	170	87

Аналіз результатів оцінки роботи котелень в умовах дії ПР і РЗ дозволяє зробити наступні висновки:

1. Об'єкт може опинитись в зоні небезпечного зараження з рівнем радіації 594 Р/год. на 1 год. після вибуху. Дія ПР малоімовірна.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Приміщення котельні та бойлерної нестійкі до дії РЗ, їх захисні властивості не забезпечують неперервної роботи на протязі робочої зміни (працюючі отримують дозу опромінення 170 Р, що значно вища за допустиму). Межа стійкості в умовах РЗ $P_{lim}=87 \text{ Р/год.}$

3. З метою підвищення стійкості роботи котельні та бойлерної в умовах РЗ потрібно провести заходи: підготувати щити для закриття віконних отворів у разі руйнування скла; підготувати системи вентиляції до роботи в режимі очищення повітря від радіаційного забруднення; розробити режими радіаційного захисту робітників і службовців.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ЕКОЛОГІЯ

6.1. Забруднення довкілля, яке виникає в результаті застосування теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення

В процесі експлуатації теплогенеруючих агрегатів спостерігається високий рівень шуму та вібрацій, це пов'язано з прямоточним принципом руху рідини, що не дозволяє повною мірою гасити пульсації рідини, які створюються насосом. Це призводить до недостатнього вилучення енергії, руху рідини і підвищеної вібрації і рівня шуму при експлуатації.

Стандарт ДСТУ 2325-93 розглядає шум як хаотичну суміш звуків різної частоти і сили. Звук - це хвильовий коливальний рух пружного середовища, що сприймається органом слуху будь-якої живої істоти. Звук, що поширюється у повітрі, називають повітряним, у твердих тілах - структурним.

Ділянка повітря, де відбувається коливальний процес, називається звуковим полем. Кількість коливань за одиницю часу (за 1 с) називають частотою коливань з одиницею вимірювання Гц.

Стандарт ДСТУ 2300-93 розглядає вібрацію як сукупність механічних коливань пружних твердих тіл, що характеризуються періодичністю зміни своїх параметрів.

Основними параметрами вібрації є: частота, амплітуда (вібро-переміщення), віброшвидкість, віброприскорення, рівень віброшвидкості та рівень віброприскорення.

Вібрацію або коливання в інженерній практиці поділяють на три види: власні коливання, вимушені коливання та автоколивання.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Лижник В.О.			РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЯ	Літ.	Лист
Перевір.		Зінь М.М.					
Консульт.		Зварич Н.М.					
Н. контр.		Коваль В.П.					
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61	

Під впливом коливань у звуковому полі навколишнього середовища виникають деформації розрідження і стиснення, що змінюють тиск у будь-яких точках порівняно з атмосферним.

Різниця між миттєвим повним тиском у точках звукового поля і середнім тиском, який спостерігають у незбуреному середовищі, називають звуковий тиск.

Звук поділяють на повітряний і структурний залежно від середовища, у якому поширюються пружні хвилі. Повітряний звук - складова звукового поля, зумовлена передачею звуку від джерела до визначеної точки по повітрю або через захисні конструкції; структурний звук – складова звукового поля, зумовлена випромінюванням шуму вібрувальними захисними конструкціями або поверхнями.

Звук характеризується звуковим тиском, швидкістю і напрямком поширення звукових хвиль, інтенсивністю переносу звукової енергії. Коливальний процес у повітрі в багатьох випадках можна вважати адіабатичним, тому що градієнт температур у звуковій хвилі настільки малий, що можна знехтувати теплообміном між суміжними частинками. У нормальних атмосферних умовах ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $p_m = 0,1013\text{ МПа}$) швидкість звуку в повітрі становить 344 м/с.

У звуковому діапазоні частот довжина хвилі змінюється від декількох десятків метрів до декількох сантиметрів. Під час поширення звукової хвилі відбувається перенос енергії. Середній потік її в якійсь точці середовища в одиницю часу, віднесений до одиниці площі поверхні, нормальної до напрямку поширення хвилі, називають інтенсивність звуку I у ватах на метр квадратний (Вт/м^2).

Людина органами слуху сприймає звуки в діапазоні частот/приблизно 20...20 000 Гц при найбільшій чутливості в діапазоні 1 000...5 000 Гц. Нижче 20 Гц знаходяться інфразвуки, а вище 20 000 Гц - ультразвуки, які людина не чує.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шум дуже впливає на людину, навколишнє середовище, наслідки його впливу дорівнюють впливові на тваринний світ від руйнації озонового шару і кислотних дощів.

Фактор шуму стає все більш визначальним серед екологічних факторів, що в розвинених країнах лімітують.

Дослідження медиків показали, що шум високої інтенсивності негативно впливає на людський організм. Щодо впливу шуму на навколишнє середовище виділяють медичний, соціальний та економічний аспекти, які варто розглядати у взаємозв'язку.

Медичний аспект впливу на людину пов'язаний з тим, що шум погіршує її функціональний стан. Функціональні розлади нервової системи настають раніше, ніж зниження слухової чутливості. Медики відзначають «шумову хворобу», що характеризується комплексом симптомів: зниженням слухової чутливості, зміною функції травлення, серцево-судинною недостатністю, нейроендокринним розладом.

Обстеження показали, що приблизно у 70 % населення кров'яний тиск і частота пульсу підвищуються з підвищенням інтенсивності шуму більш ніж на 10 % від фонового (природного). Фахівці стверджують, що через підвищений шум (транспорт, заводи, енергооб'єкти) захворюваність у містах збільшується на 30 %, тривалість життя зменшується на 8-10 років, працездатність знижується мінімум на 10 %, а ефективність відпочинку - майже вдвічі.

Шум від енергетичного устаткування в інфразвуковій та ультразвуковій зонах може також становити небезпеку для здоров'я обслуговуючого персоналу і жителів навколишнього району.

Інфразвук на робочих місцях, у житлових і громадських приміщеннях, на території житлової забудови регламентують санітарні норми.

Щоб виміряти шумові характеристики устаткування, зокрема енергетичного, є декілька методів: точні, технічні та орієнтовні.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точними методами можна вимірювати шумові характеристики тільки частини енергетичного устаткування, що має невеликі габаритні розміри. Зазвичай такі вимірювання за допомогою ревербераційних або заглушених камер виконують спеціалізовані організації.

Технічні методи менш точні, але дозволяють робити виміри в приміщеннях великого об'єму або на відкритому просторі.

Найбільше застосовують для визначення шумових характеристик енергетичного устаткування орієнтовний метод, що забезпечує прийнятну для акустичних розрахунків точність.

Якщо виконати всі вимоги до великогабаритного енергетичного устаткування неможливо, то користуються такими рекомендаціями: виміри проводять на відстані 1 м від корпусу агрегату, а вимірювальна поверхня повторює форму машини в загальних рисах (паралелепіпед, циліндр, сфера) і не враховує окремих несуттєвих деталей джерела шуму.

Ще одним фактором впливу на навколишнє в процесі експлуатації теплогенеруючих агрегатів є застосування мастил і технічних рідин (ПММ). Ступінь впливу мастил і технічних рідин на навколишнє середовище визначається трьома факторами: хімічним складом, робочою температурою і культурою поводження з ними. Хімічний склад є домінуючим фактором. Він характеризує потенційну здатність впливати на зовнішнє середовище, а також визначає найбільш екологічно та економічно обґрунтований спосіб утилізації відпрацьованих ПММ.

Мінеральні масла є реальною загрозою для здоров'я людини у тих випадках, коли в них містяться легкі вуглеводні (бензин, бензол), чи коли можлива утворення масляного туману або масляної пари (при нагріванні розпилюванні). Дихальні шляхи і легені людини більш чутливі, ніж інші органи, до впливу масляної пари і масляного туману. Вдихання масляного туману із завислими частинками від 1 до 100 мкм викликає отруєння. Серед хворих раком легень і бронхів виявлено багато людей, які довгостроково

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піддавалися впливу пари чи туманів мінеральних масел і їхніх емульсій. Небезпека отруєння парою або туманами масел різко зростає, якщо в маслі містяться сірчані сполуки.

При наявності сірки у маслі можуть виникнути умови для утворення сірководню (H_2S), який викликає отруєння з блискавичною втратою свідомості. Токсичність масел виявляється також при частому потраплянні масел на відкриті ділянки тіла, при тривалій роботі в одязі, просоченому маслом. Систематичний контакт з маслом може викликати гостре чи хронічне захворювання шкіри тіла. Найбільш часті фолікулярні враження шкіри, які представляють собою захворювання волосяних мішечків та сальних залоз. Ці захворювання відомі за назвою масляних чи газових вугрів, спостерігаються у механіків, токарів, трактористів, водіїв, комірників та інших робітників, які щоденно мають справу з маслами.

6.2. Основні заходи по зменшенню забруднень

Зменшення впливу теплогенеруючих агрегатів на навколишнє середовище в процесі експлуатації можливе при дотриманні відповідних вимог і правил, а саме:

1) Зменшення шумів, властивих для устаткування з електроприводом, можливе шляхом:

- удосконалення електричних частин устаткування;
- розміщення електродвигунів у звукоізолюючих кожухах;
- точного балансування ротора;
- підвищення жорсткості корпусу електродвигуна, вала ротора, підшипників;
- слідування за наявністю змащувального матеріалу;
- забезпечення засобів звукоізоляції;
- забезпечення засобів звукопоглинання.

2) Захист від шкідливої дії мастил і технічних рідин можливе шляхом:

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- встановлення на вузлах і деталях, які підлягають найбільш швидкому зносу спеціальних індикаторів, які надають інформацію щодо необхідності їх заміни;
- своєчасне технічне обслуговування і точне регулювання;
- зниження шкідливого за рахунок впровадження новітніх систем нейтралізації.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу основних етапів розвитку і розглянувши основні групи та особливості роботи вихрових генераторів тепла встановлено що, вихрові гідравлічні теплогенератори з моменту свого створення знайшли застосування для автономного опалення і гарячого водопостачання побутових і промислових приміщень. Сьогодні вони ефективно використовуються в місцях де відсутнє централізоване теплопостачання, в районах де немає постачання природного газу, а також в якості резервної або мобільної системи опалення і гарячого водопостачання на випадок надзвичайних або аварійних ситуацій.

2. При створенні установок для дисипативного нагрівання рідких технологічних середовищ доцільним є застосування схеми роторних гідродинамічних теплогенераторів, під час роботи яких реалізується високоградієнтний тонкоплівочний рух робочих рідин у міжциліндровому зазорі. Застосування саме такої принципової схеми роботи нагрівача, на відміну від інших, дає можливість отримати максимальне значення теплової потужності.

3. Встановлено, що застосування теплогенераторів в харчовій промисловості, зокрема для пастеризації молока дозволяє покращити смакові властивості молочних продуктів завдяки подрібненню (диспергації) кавітаційними струмками високомолекулярних сполук, що присутні в молоці та молочних сумішах, а також значно знизити витрати електроенергії.

4. Розроблено систему теплопостачання і ГВП будинку котеджного типу з використання вихрових генераторів тепла, та здійснено розрахунок всіх параметрів такої системи теплопостачання згідно характеристик обладнання та розміру будинку.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лижник В.О.			ВИСНОВКИ			Літ.	Лист	Листів	
Перевір.		Зінь М.М.									
Консульт.		Зінь М.М.						ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61			
Н. контр.		Коваль В.П.									
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.									

5. З допомогою техніко-економічних розрахунків встановлено, що по ефективності гідродинамічні теплогенератори посідають третє місце, після вугільних і газових котлів і виграють у будь-якої системи опалення яка використовує електричну енергію. Крім того, їх ефективність можна підвищити за застосовуючи диференційовані тарифи на електроенергію.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ткаченко О.М. Виробництво надлишкової енергії / Ткаченко О.М., Федоткін І.М., Тарасов В.О. – К.: Техніка, 2002. – 332 с. – (Сер. „Енерго- та ресурсозберігаючі технології та системи в агропромисловому комплексі”).
2. Федоткин И.М. Кавитация / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К.: Полиграфкнига, 1997. – 840 с.
3. Долинский А.А. Принципы разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии / А.А. Долинский, Г.К. Иваницкий // Промышленная теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 4-5. – С. 13-25.
4. Долинский А.А. Использование принципа дискретно-импульсного ввода энергии для создания эффективных энергосберегающих технологий / А.А. Долинский // Инженерно-физический журнал. – 1996. – Т. 69, № 6. – С. 885-896.
5. Долинский А.А. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. 1. Модель динамики одиночного парового пузыря / А.А. Долинский, Г.К. Иваницкий // Промышленная теплотехника. – 1995. – Т. 17, № 5. – С. 3-29.
6. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / [Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый С.И. и др.]. – К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 1996. – 208 с.
7. Осипенко С.Б. Холодное закипание. Автономные источники тепла / С.Б. Осипенко // Менеджмент машиностроения. – 2000. – № 8-9. – С. 68-71.
8. Рыбка А.К. Бизнес – энергия воды / А.К. Рыбка // Украина промышленная. – 2004. – № 3. – С. 20-21.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лижник В.О.			ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Літ.	Лист	Листів
Перевір.		Зінь М.М.						
Консульт.		Зінь М.М.				ТНТУ, ФПТ, ЕМм - 61		
Н. контр.		Коваль В.П.						
Зав. каф.		Тарасенко М.Г.						

9. Арабаджев А.М. Почему электроотопление – путь к энергосбережению / А.М. Арабаджев // Энергосбережение. – 2004. – № 5. – С. 6-8.
10. Теплов А.А. Качество и экономика пастеризации / А.А. Теплов // Лидер Украины. – 2004. – № 37. – С. 70-71.
11. Коваль В.П. Тепловая и гидродинамическая оптимизация подогревателя высоковязких нефтепродуктов / В.П. Коваль, В.Н. Горячкин // Metallургическая теплотехника. – 2002. – Т. 6. – С. 21-29.
12. Михалкина Г.С. Пастеризация молока и сыворотки в суперкавитирующем аппарате роторно-пульсационного типа / Г.С. Михалкина, Н.А. Соснина // Молочная промышленность. – 1999. – № 8. – С. 32-33.
13. Горячкін В.М. Дисипативне нагрівання текучого середовища в каналі: дис. канд. техн. наук: 05.14.06 / Горячкін Вадим Миколайович. – Дніпропетровськ, 2005. – 125 с.
14. Коваль В.П. Энергетические характеристики вихревого потока в круглой трубе / В.П. Коваль, В.Н. Горячкин // Вісник НТУ „ХПІ”. – 2002. – Т. 2, № 7. – С. 171-176.
15. Коваль В.П. Тепловая мощность текучей среды в трубе при малых числах Рейнольдса / В.П. Коваль, В.Н. Горячкин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2001. – № 4. – С. 8-12.
16. Вронский С.П. Распределение температуры в жидкостях при ламинарном течении в условиях больших значений касательных напряжений / С.П. Вронский // Инженерно-физический журнал. – 1967. – Т. 12, № 3. – С. 296-308.
17. Головин В.М. Электро моделирование процесса теплообмена при ламинарном течении жидкости в трубе с учетом диссипативного нагрева / В.М. Головин, А.В. Темников, Н.В. Дилигенский // Труды КуАИ. – 1971. – № 35. – С. 23-27.
18. Головин В.М. Влияние внешнего теплообмена на диссипативный нагрев жидкости при ламинарном движении между параллельными плоскими

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стенками / В.М. Головин, М.Я. Сычев // Труды КуАИ. – 1966. – № 24. – С. 50-57.

19. Головин В.М. Влияние теплообмена с окружающей средой на диссипативный нагрев жидкости при ламинарном движении в круглой цилиндрической трубе / В.М. Головин, М.Я. Сычев // Труды КуАИ. – 1966. – № 24. – С. 58-63.

20. Файницкий Ю.Л. Влияние диссипации механической энергии на теплообмен при ламинарном движении жидкости между двумя перемещающимися относительно друг друга плоскими стенками / Ю.Л. Файницкий // Труды КуАИ. – 1967. – № 28. – С. 94-100.

21. Головин В.М. Диссипативный нагрев жидкости в щели с параллельными плоскими стенками при постоянном тепловом потоке / В.М. Головин, М.Я. Сычев // Труды КуАИ. – 1966. – № 23. – С. 14-15.

22. Піроженко І.А. Гідродинаміка та теплові ефекти в циліндричному роторно-пульсаційному апараті: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Піроженко Інна Анатоліївна. – К., 2005. – 166 с.

23. Пироженко И.А. Экспериментальное исследование тепловых и гидродинамических характеристик жидкости в роторно-пульсационном аппарате / И.А. Пироженко // Промышленная теплотехника. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 106-113.

24. Гелетуха Г.Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Г.Г. Гелетуха, С.І. Кудря // Зелена енергетика. – 2005. – № 2. – С. 8-10.

25. Ткаченко А.Н. Кавитационные техника и технологии / Ткаченко А.Н., Федоткин И.М., Тарасов В.А. – К.: Техніка, 2001. – 464 с. – (Сер. «Енерго- та ресурсозберігаючі технології та системи в агропромисловому комплексі»).

26. Повышение эффективности контактных и контактно-поверхностных водонагревателей / В.Ю. Никитин, А.Е. Еринов, А.Б. Сезоненко [и др.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 2. – С. 77-80.

27. Анипко О.Б. Параметрический анализ влияния загрязнений

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплообменной поверхности на теплоотдачу / О.Б. Анипко, А.Л. Гогенко // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2005. – № 2. – С. 88-91.

28. Серебряков В.А. Неожиданные результаты использования противонакипного устройства / В.А. Серебряков // Энергосбережение. – 2005. – № 10. – С. 12-14.

29. Преображенский Н.И. Контроль за рациональным использованием газа / Преображенский Н.И. – Л.: Недра. Ленингр. отд-ние, 1983. – 368 с.

30. Гуревич С.Н. Карбонатные отложения – причина высоких энергозатрат и эксплуатационных расходов / С.Н. Гуревич // Энергосбережение. – 2005. – № 2. – С. 19-22.

31. Куликов Е.В. Методы очистки шламов и накипи / Е.В. Куликов // Энергосбережение. – 2004. – № 3. – С. 6-7.

32. Твердохлеб Г.Б. Технология молока и молочных продуктов / Твердохлеб Г.Б., Алексеев В.Н., Соколов Ф.С. – К.: Вища школа, 1978. – 408 с.

33. Михайловская Т.Н. Ингибирование процессов солеотложения и коррозии в системах водяного отопления / Т.Н. Михайловская, Ю.В. Михайловская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 2. – С. 20-24.

34. Трофимова Т.И. Курс физики: [учеб. пособие для вузов] / Трофимова Т.И. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк. 1990. – 478 с.

35. Невзоров А.С. Электрические котлы для автономного отопления / А.С. Невзоров // Аква-Терм. – 2004. – № 2. – С. 12-14.

36. Фомин Н.И. Электрические печи и установки индукционного нагрева / Н.И. Фомин, Л.М. Затуловский. – М.: Металлургия, 1974. – 246 с.

37. Шипулин А.И. Нагрев и нагревательные устройства: [учеб. пособие для вузов] / А.И. Шипулин, И.А. Шипулин. – Ростов Н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2000. – 91 с.

38. Некрасов А.В. Теплоносители для систем отопления: российский рынок / А.В. Некрасов // Аква-Терм. – 2002. – № 5. – С. 34-35.

39. Юматов В.В. Энергосберегающий нагрев воды / В.В. Юматов //

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики и системы. – 2001. – № 5. – С. 40-41.

40. Нетушил А.В. Высокочастотный нагрев в электрическом поле / Нетушил А.В., Жуховицкий Б.Я., Кудин В.Н. – М.: Высшая школа, 1961. – 146 с.

41. Казанцев В.И. Использование СВЧ-энергии в промышленных установках различного назначения / В.И. Казанцев // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. – 1994. – № 4. – С. 51-56.

42. Новиков И.И. Термодинамика: [учеб. пособие для студентов энергомашиностроительных и теплотехнических специальностей вузов] / Новиков И.И. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.

43. Тевис П.И. Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева / Тевис П.И., Ананьев В.А., Шадек Е.Г. – М.: Машиностроение, 1986. – 208 с.

44. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: [учебник для машиностроительных вузов] / [Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

45. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л.Г. – [изд. 5-е, перераб.]. – М.: Наука, 1978. – 736 с.

46. Технологія. Екологія. Машинобудування. – <http://www.tekmash.com.ua>.

47. Курносов Н.Е. Вихревой термогенератор – решение проблемы теплоснабжения / Н.Е. Курносов // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2003. – № 1. – С. 15-16.

48. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике / Меркулов А.П. – М: Машиностроение, 1969. – 208 с.

49. Маляренко В.А. Вихревые холодильники – калориферы для охлаждения (обогрева) помещений / В.А. Маляренко, А.М. Яковлев // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2007. – № 4. – С. 25-33.

					ДРМ 314.18.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		