

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М.ПОТЕБНІ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота**  
другий магістерський  
(рівень вищої освіти)

на тему «Дослідження доцільності переведення системи опалення на альтернативну з використанням біопалива»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1440-3  
спеціальності теплоенергетика  
освітньої програми теплоенергетика

Герасименко Ганна Вікторівна

Керівник к.т.н., доц. Ільїн С.В.

Рецензент проф, д.т.н. Банах В.А.

Запоріжжя  
2021

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра Теплоенергетики та гідроенергетики  
Рівень вищої освіти другий магістерський  
Спеціальність 144 Теплоенергетика  
Освітня програма Теплоенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Герасименко Ганна Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Дослідження доцільності переведення системи опалення на альтернативну з використанням біопалива

керівник роботи Ільїн Сергій Віталійович, к.т.н., доц.

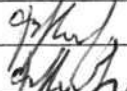

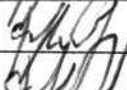

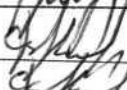

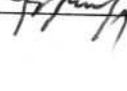

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «30» червня 2021 року № 975-с

- 1 Строк подання студентом роботи: 05 грудня 2021 р.
- 2 Вихідні дані до роботи: характеристики парової турбіни, характеристики ДВЗ, параметри згоряння біогазу.
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальна інформація про виробництво цукру. Опис ТЕЦ. Оцінка вироблення біогазу з жому та опис технології процесу. Оцінка вироблення біогазу з жому. Опис технології процесу. Повірочний розрахунок котла при спалюванні суміші природного газу та біогазу. Розрахунок ступеня парової турбіни, що встановлена на ТЕЦ ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний». Використання біогазу для когенерації. Вибір і розрахунок ДВЗ при спалюванні біогазу.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): План заводу. Схема біогазової установки. Схема ферментаторів. Ферментатори та газгольдер. Розрахунок процесу. Схема пальника RPD 80 G-E. Схема двигуна JENBACHE. Теплоутилізатор з глушником.

#### 5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	зав. при
1	Ільїн С.В.		
2	Ільїн С.В.		
3	Ільїн С.В.		
4	Ільїн С.В.		


6 Дата видачі завдання 05 травня 2021 р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	
1	Огляд літературних джерел	25.06.2021	ВІ
2	Проектування установки для вироблення біогазу з жому	01.08.2021	ВІ
3	Охорона праці та техногенна безпека	01.10.2021	ВІ
4	Контрольно-вимірювальні прилади і автоматика	25.11.2021	ВІ
5	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно нормативним вимогам	05.12.2021	В


Студент   
(підпис)

Г. В. Герасимен  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)   
(підпис)

С.В. Ільїн  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер 

С.Є. Чижов

## ЗМІСТ

### ВСТУП

#### 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Загальна інформація про виробництво цукру

1.2 Опис ТЕЦ

1.3 Обґрунтування вибору теми

#### 2 ПРОЕКТУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ БІОГАЗУ З ЖОМУ

2.1 Оцінка вироблення біогазу з жому та опис технології процесу

2.2 Оцінка вироблення біогазу з жому

2.3 Опис технології процесу

2.4 Повірочний розрахунок котла при спалюванні суміші природного газу та біогазу

2.5 Розрахунок ступеня парової турбіни, що встановлена на ТЕЦ ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний»

2.6 Використання біогазу для когенерації

2.7 Вибір і розрахунок ДВЗ при спалюванні біогазу

#### 3 КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І АВТОМАТИКА

#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

4.3 Виробнича санітарія

4.4 Електробезпека

4.5 Протипожежна безпека

4.6 Засоби індивідуального захисту

4.7 Розрахунок небезпеки поразки персоналу електричним струмом

ВИСНОВОК

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

## АНОТАЦІЯ

Г.В. Герасименко Дослідження доцільності переведення системи опалення на альтернативну з використанням біопалива.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник канд. техн. наук, доцент Ільїн С.В.. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2021.

В магістерській роботі вирішено актуальну науково - технічну задачу підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів шляхом переведення існуючої системи енергопостачання на альтернативну з використанням біопалива.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, гідравлічний розрахунок, анаеробні процеси, котел, біогазова технологія, економія природного газу, економічна ефективність

## ANNOTATION

G.V. Gerasimenko Research of expediency of transfer of heating system to alternative with use of biofuel. Qualifying final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, research supervisor Cand. tech. Sciences, Associate Professor Ilyin SV. Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute. Yu.M. Potebny, Department of Heat and Hydropower, 2021.

In the master 's thesis the actual scientific and technical problem of increase of efficiency of use of power resources by transfer of the existing system of power supply to alternative with use of biofuel is solved.

Keywords: biogas, biogas plant, hydraulic calculation, anaerobic processes, boiler, biogas technology, economy of natural gas, eco-gas, eco-economics

## ВСТУП

Одне з найбільш перспективних напрямків енергетичного використання біомаси - виробництво з неї біогазу, що складається на 50-80% з метану і на 20-50% з вуглекислоти. Виробництво біогазу з органічних відходів дає можливість вирішувати одночасно три завдання: енергетичну, агрохімічну (одержання добрив) та екологічну.

Отримуючи з біомаси біогаз, з'являється можливість використовувати його на потреби підприємства. Так, з 1 м<sup>3</sup> біогазу, залежно від вмісту метану, можна виробити від 1,5 до 2,2 кВт електроенергії. При виробництві електричної енергії виходить і теплова енергія, яку також можна направити на потреби підприємства.

Виробництво біогазу дозволяє так само запобігти викидам метану в атмосферу, знизити застосування хімічних добрив, скоротити навантаження на ґрунтові води.

У роботі розглядається біогазова установка, що побудована на ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний». В якості біомаси використовується буряковий жом. Біогаз, в період роботи заводу, буде спалюватися в парових котлах. Поза сезоном біогаз пропонується спалювати в когенераційних модулях. При цьому теплова енергія буде направлятися на ГВП селища.

*Актуальність роботи* полягає в розробці енергоефективної та екологічної системи енергопостачання промислового об'єкту з використанням альтернативного палива – біогазу.

*Метою дипломної роботи* є дослідження можливості переведення існуючої системи енергопостачання на альтернативну з використанням біопалива.

*Об'єктом дослідження* є енергоефективне джерело теплопостачання ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний».



*Предметом дослідження* є процес створення енергоефективного джерела теплоти, яке використовує альтернативне паливо.

*Методи дослідження.* Застосовано розрахунковий метод з використанням стандартних методик.

*Об'єм та структура роботи.* Дипломна робота складається зі вступу чотирьох розділів, загальних висновків, списку літератури із джерел. Загальний об'єм роботи становить сторінок, таблиць.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1 Загальна інформація про виробництво цукру

Цукровий завод міста м. Крижополь був побудований в 1957 році. Щорічно це підприємство переробляє близько 300 тис.тонн цукрового буряка. Останнім часом на заводі проведені істотні зміни: на 47,6% знижено витрата теплоенергии, на 26,0% - вапняного каменю. У сезон тут працює близько 500 чоловік.

Носівський цукровий завод являє собою велике підприємство. Період роботи заводу становить 100 днів. На заводі всі операції механізовані й виконуються безперервним потоковим способом цілодобово, без зупинок на вихідні дні.

З первинних приймачів буряка або з кагатів буряк доставляють у будинок заводу за допомогою гідравлічних транспортерів, тобто ринв, у які подається вода. Водою буряк несеться на завод. На гідравлічному транспортері звичайно встановлюють механічні соломолушки, що відокремлюють від буряка грубі домішки. На заводі буряк надходить у коритоподібну мийку, постачену валом і кулаками, у якій відмивається від землі. Потім буряк елеватором піднімають на висоту приблизно 15 м, щоб подальші операції здійснювалися самопливом. З елеватора вимитий буряк подають на автоматичні ваги, що реєструють масу сировини, яка поступила на завод. Наступним завданням є одержання з буряка соку. У сучасних дифузійних апаратах безперервної дії буряк, порізаний у стружку, рухається назустріч гарячій воді, у яку поступово дифундує цукор з бурячної стружки. При такому протиточному висолоджувані одержують дифузійний сік, що містить майже весь цукор буряка, а в знецукреній стружці («гніт») губиться всього лише близько 0,3% цукру по буряку. Дифузійний сік мутний, чорного кольору. Для очищення дифузійний сік нагрівають паром в особливих підігрівниках (решоферах) до 90°C и додають до нього вапняне молоко. При нагріванні соку коагулюються білки й чорні барвники буряка. Крім того,

аніони багатьох солей і кислот, що втримуються в дифузійному соку, утворюють осад з іоном кальцію й, таким чином, віддаляються з розчину (наприклад, аніони шавлевого, фосфорної й ряду інших кислот), відбувається, отже, очищення соку. Цю операцію для очищення соку називають дефекацією (осадженням). На неї витрачають значний надлишок вапняного молока. Потім сік разом з усіма опадами насичують вуглекислим газом (це так називана сатурація, тобто насичення), при цьому надлишкове вапно перетворюється в нерозчинний дрібний кристалічний осад  $\text{CaCO}_3$ , на поверхні часток якого збираються (адсорбуються) деякі, особливо пофарбовані, несолодкі соки; таким чином, досягається додаткове очищення соку шляхом адсорбції.

Потім сік нагрівають до  $90^\circ\text{C}$ , щоб поліпшити фільтрацію, і фільтрують на вакуум-фільтрах, які відокремлюють осад, що містить  $\text{CaCO}_3$ . Кольор профільтрованого соку ясно-жовтий. Отриманий сік обробляють газом  $\text{SO}_2$  (сульфітація) для додаткового знебарвлення його й ще раз фільтрують. Очищений сік ясно-жовтих кольорів. У ньому втримується близько 15% сухих речовин і близько 14% цукру. Очищений сік випарюють на випарній установці до концентрації 65% сухих речовин, з яких близько 60% цукру й 5% нецукрів. Сироп ще раз сульфують для додаткового знебарвлення й фільтрують.

Нарешті, очищений сироп уварюють під розрідженням у вакуум-апаратах до високої концентрації - близько 92,5% сухих речовин (з них близько 85% цукру). Цей продукт називається утфелем. Невеликої кількості води, що залишається в утфелі (7,5%), недостатньо, щоб удержати в розчині весь цукор. Тому в процесі уварювання більша частина цукру викристалізовується й утфель містить більше 50% кристалів цукру. Залишається лише відокремити цей цукор від навколишньої маткової рідини, що містить також цукор у розчині й всі нецукри.

Кристали цукру відокремлюють із утфеля на центрифугах. Утфель, завантажений у центрифугу, під дією відцентрової сили розташовується по

бічній поверхні барабані. В барабані залишаються лише кристали цукру, які промивають невеликою кількістю гарячої води. Отриманий цукор-пісок висушують й упаковують у мішки.

Матковий розчин («зелений відтік»), відділений на центрифугах, містить ще багато цукру (приблизно 62%), тому його ще раз уварюють у вакуум-апаратах до вмісту 95% сухих речовин й одержують утфель другої кристалізації. Потім кристали цукру відокремлюють на центрифугах. Виходить цукор уже гіршої якості - «жовтий цукор», що повертають у виробництво (розчиняють у соку й додають до сиропу). У матковому розчині, відділеному від утфеля другої кристалізації, хоча й утримується близько 50% цукру по масі розчину, але одержати цей цукор методом подальшого уварювання й кристалізації вже не вдається, тому що нецукри, що втримуються в ньому, ускладнюють кристалізацію. Це розчин є відходом виробництва, названим мелясою (або кормовою патокою). Він уживається на виробництво спирту або дріжджів, частково йде на корм худобі й на одержання комбінованих кормів. Крім того, у цей час із меляси виділяють цукор, застосовуючи хімічні методи. Діючи вапном або окисами стронцію або барію («сепарація», тобто виділення цукру з меляси), цукор переводять у слабозчинні з'єднання.

Отже, цукробурякове виробництво, переробляючи цукровий буряк, дає звичайний білий цукор-пісок та відходи - гніт (знецукрену бурячну стружку), дефеко-сатураційний осад, одержуваний при очищенні соку та мелясу.

## 1.2 Опис ТЕЦ

Джерелом теплової та електричної енергії на цукровому заводі міста Крижополь є ТЕЦ. Під час сезону ТЕЦ повністю постачає завод тепловою та електричною енергією і навіть видає надлишок електричної енергії в

енергосистему. Поза сезоном ТЕЦ не працює і електроенергія для власних потреб споживається з системи.

У котельні знаходяться чотири вертикально-водотрубних котла «Радіант», два з яких знаходяться в резерві. Технічні характеристик котла представлені в таблиці 1.1 Котли працюють на природному газі.

В якості резервного палива використовується мазут.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики котла «Радіант»

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення
Номінальна продуктивність	т/год	30
Тиск пари в барабані	МПа	3,3
Тиск перегрітої пари	МПа	2,8
Розрахункова температура перегрітої пари	°С	300
Температура живильної води	°С	105
Розрахунковий ККД бруто	%	92
Площа поверхні нагрівання конвективного пучка	м <sup>2</sup>	321
Площа поверхні нагрівання екранів	м <sup>2</sup>	127
Площа поверхні нагрівання пароперегрівача	м <sup>2</sup>	282
Площа поверхні нагрівання водяного економайзера	м <sup>2</sup>	262

Характеристика димососів і повітродувок представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Тягодуттьові машини

Найменування показника	Вентилятор	Димосос	
Тип	Lonis PRAT	Д15,5	Lonis PRAT
Подача, м <sup>3</sup> /год	41,6-50	60	56-60
Напір, м	185-230	200	140-180
Потужність електродвигуна, кВт	51,5	73,0	75
Частота обертання, об/хв	900	730	950
Кількість	3	1	2

В якості живильної води використовується конденсат відпрацьованої і технологічної пари, а також вторинної пари 1-го корпусу випарної установки. Характеристика живильних насосів представлена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Живильні насоси

Найменування показника	Одиниці вимірювання	ПЭ-65-56	МРСВ-20-11	Турбонасос
Подача	м <sup>3</sup>	65	60	30
Напір	кПа	5,76	6,62	5,64
Потужність	кВт	260	-	-
Частота обертання	об/хв	2960	3000	3900
Кількість	-	2	1	2
Тиск пари	МПа	-	-	3,9
Температура пари	°С	-	-	450

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики турбіни P-6-35/3

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Значення
Потужність	МВт	6
Тиск гострої пари	МПа	2,8
Температура гострої пари	°С	300
Частота обертання	об/хв	3000
Тиск на вихлопі	МПа	0,3
Температура на вихлопі	°С	186

### 1.3 Обґрунтування вибору теми

Окремі випадки використання примітивних біогазових технологій були зафіксовані в Китаї, Індії, Ассирії та Персії починаючи з XVII століття до нашої ери. Проте систематичні наукові дослідження біогазу почалися тільки в XVIII столітті нашої ери, через майже 3,5 тисячі років. У 1764 році Бенджамін Франклін у своєму листі Джозефу Прістлі описав експеримент, в ході якого він зміг підпалити поверхню дрібного заболоченого озера в Нью-Джерсі, США. Перше наукове обґрунтування зпалювання займистих газів в болотах і озерних відкладеннях дав Олександр Вольта в 1776 р, встановивши наявність метану в болотному газі. Після відкриття хімічної формули метану Дальтоном в 1804 році, європейськими вченими були зроблені перші кроки в дослідженнях практичного застосування біогазу [20].

Свій внесок у вивчення утворення біогазу внесли і російські вчені. Вплив температури на кількість газу, що виділяється вивчив Попов в 1875 році. Він з'ясував, що річкові відклади починають виділяти біогаз при температурі близько 6°С. Зі збільшенням температури до 50°С, кількість газу, що виділяється значно збільшувалася, не змінюючись за складом - 65% метану: 30% вуглекислого газу, 1% сірководню і незначна кількість азоту,

кисню, водню і закису вуглецю. В.Л. Омелянській детально дослідив природу анаеробного бродіння. Незабаром після цього, в 1881 році, почалися дослідження європейських учених з використання біогазу для обігріву приміщень та освітлення вулиць. Починаючи з 1895 року, вуличні ліхтарі в одному з районів міста Ексетер (Англія) забезпечувалися газом, який виходив в результаті бродіння стічних вод і збирався в закриті ємності. Двома роками пізніше з'явилося повідомлення про отримання біогазу в Бомбеї, де газ збирався в колектор і використовувався в якості моторного палива в різних двигунах.

На початку ХХ століття були продовжені дослідження в галузі підвищення кількості біогазу шляхом збільшення температури бродіння. Німецькі вчені Імхофф і Бланк в 1914-1921 рр. запатентували ряд нововведень, які полягали у введенні постійного підігріву ємностей. У період Першої світової війни почалося поширення біогазових установок по Європі, пов'язане з дефіцитом палива. Господарства, де були такі установки, знаходилися в більш сприятливих умовах, хоча установки були ще недосконалі і в них використовувалися далеко не оптимальні режими.

Одним з найважливіших наукових кроків в історії розвитку біогазових технологій є успішні експерименти Бусвелла по комбінуванню різних видів органічних відходів з гноєм в якості сировини в 30-х роках ХХ століття.

Перший великомасштабний завод з виробництва біогазу був побудований в 1911 році в англійському місті Бірмінгемі і використовувався для знезараження осаду стічних вод цього міста. Таким чином, англійські вчені є піонерами практичного застосування нової технології. Вже до 1920 року вони розробили кілька типів установок для переробки стічних вод. Перша біогазова установка для переробки твердих відходів об'ємом 10 м<sup>3</sup> була розроблена Німаном і Дюселей і побудована в Алжирі в 1938 році.

У роки Другої світової війни, коли енергоносії катастрофічно не вистачало, у Німеччині та Франції був зроблений акцент на отримання біогазу із гною. У Франції до середини 40-х років експлуатувалося близько 2



тис. біогазових установок для переробки гною. Цілком природно, цей досвід поширювався на сусідні країни.

Сьогодні біогазові технології стали стандартом очищення стічних вод та перероблення сільськогосподарських і твердих відходів і використовуються в більшості країн світу.

Дуже важливою проблемою цукрового заводу м. Крижополь є утилізація жому, який є відходом цукрового виробництва. Щоденний вихід жому становить 800 т/доб. За часів СРСР вся це кількість жому використовувалося на корм худобі. Тепер, після розвалу тваринницьких комплексів, згодовувати жом нікому. Тому жом вивозиться в жомові сховища, де і гниє. За оренду землі, де утилізується жом, підприємство щороку виплачує близько 100 000 гривень. Якщо в найближчі роки не буде вирішена проблема утилізації жому, підприємство очікують ще більші витрати.

Жом можна направити на біогазову установку, яка переробить його в біогаз і високоякісні добрива. Біогаз можна використовувати на потреби підприємства, тим самим заощаджуючи на енергоресурсах. Добрива можна направити на поля, де вирощується буряк, що позитивно позначиться на виході врожаю.

Для того щоб спалювати біогаз у вже існуючих котлах, їх необхідно переобладнати.

Існує два варіанти експлуатації біогазового заводу:

- біогаз вироблятиметься тільки в період роботи цукрового заводу, тобто тільки тоді, коли є жом;

- експлуатація біогазового заводу цілий рік. Така схема може бути реалізована при заготівлі жому силосування. Цей жом буде перевозитися залізничним транспортом з цукрового заводу м. Крижополь на Носівський цукровий завод і заготовлюватися там в необхідному для роботи біогазової установки кількості. Біогаз буде спалюватися в когенераційних установках, виробляючи електричну та теплову енергію. Частина електроенергії буде

використовуватися на потреби заводу і біогазової установки, а інша частина буде продаватися. Частина теплової енергії буде використовуватися для підтримки оптимальної температури в реакторах, інша частина буде використовуватися для ГВП району міста.

Використання біогазових технологій - це великий крок у розвитку енергетики України. Тяга до економії допоможе змусити населення України використовувати біогазові установки в господарстві. А це в свою чергу, допоможе розвитку аграрного і тваринницького сектору країни. Китай, Індія і багато інших країн можуть послужити прикладом, коли в масштабі країни біогазові технології просуваються і пропагуються.

Використання біогазових технологій в умовах України - це найбільш підходящий метод використання біомаси з усіх нині існуючих. Пояснюється це тим, що цей спосіб утилізації біомаси є найбільш екологічним, так як спалювання газу є найменш шкідливим з точки зору екології. Крім того, з'являється можливість використовувати цінні біодобрива, економлячи на добривах хімічної промисловості.

Реалізація даного проекту допоможе вирішити проблему утилізації жому на цукровому заводі. У найближчі роки підприємство може зіткнутися з тим, що нікуди буде його вивозити. Жом в свою чергу, при гнитті в ямах забруднює землю, атмосферу (виділяється  $\text{CH}_4$ ), і підземні води.

Бонусом даного проекту є можливість підключення частині селища до гарячого водопостачання.

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ БІОГАЗУ З ЖОМУ

### 2.1 Оцінка вироблення біогазу з жому та опис технології процесу

Біогазові технології - радикальний спосіб знешкодження і переробки різноманітних органічних відходів рослинного і тваринного походження, включаючи екскременти тварин і людини, з одночасним отриманням висококалорійного газоподібного палива - біогазу та високоефективних екологічно чистих органічних добрив. Біогазові технології - це вирішення проблем енергетики, агрохімії, екології та капіталу [5].

В основі біогазових технологій лежать складні природні процеси біологічного розкладання сапропелю, гною або пташиного посліду, їх сумішей та інших органічних речовин в анаеробних умовах (без доступу повітря). При цьому під впливом особливої групи анаеробних бактерій, відбуваються процеси супроводжуються мінералізацією азотовмісних, фосфоровмісних і калійвмісних органічних сполук з отриманням мінеральних форм азоту, фосфору і калію, найбільш доступних для рослин, з повним знищенням патогенної (хвороботворної) мікрофлори, яєць гельмінтів, насіння бур'янів, специфічних фекальних запахів, нітратів і нітритів. Ємність, в якій відбувається процес зброджування, називається «метантенки», або «реактором». При дотриманні оптимального температурного режиму бродіння, постійному перемішуванні сировини, своєчасної завантаженні вихідного і вивантаженні збродженого матеріалу вихід біогазу досягає 2-3 м<sup>3</sup> з 1 м<sup>3</sup> реактора, а при використанні пташиного посліду - 6 м<sup>3</sup>.

Є кілька видів анаеробних бактерій, кожен з яких максимально ефективно працює при певній температурі. У зв'язку з цим розрізняють різні температурні режими бродіння. На практиці використовуються два режими: мезофільні (30-40°C) і термофільний (51-55°C).

У термофільному реакція йде в два рази швидше, і відповідно в два рази швидше виділяється біогаз. Також термофільний режим має переваги з точки зору екології, оскільки в цьому режимі знищуються майже повністю всі хвороботворні мікроорганізми. Але термофільний режим вимагає великих енерговитрат на підтримання необхідної температури реакції, а також більшої точності підтримки температури. Крім того, якість біодобрив в цьому режимі виходить гірше, ніж в мезофільному.

Мезофільні режим пред'являє менш суворі вимоги до точності підтримки температури, але не завжди може підходити з точки зору екології.

Якщо нас цікавлять насамперед біодобрива, то мезофільних режим - це безальтернативний вибір.

Якщо необхідно істотно заощадити на вартості біогазової установки, то підходить термофільний режим. Адже установка, що працює в термофільному має в два рази більшу пропускну здатність, і, відповідно, може бути зменшена в два рази в порівнянні з установкою, що працює в мезофільному режимі, при переробці тієї ж кількості сировини.

При переробці сировини в анаеробних умовах виходить суміш газів - метану і вуглекислоти, які утворюються в результаті розкладання складних субстратів за участю популяції мікроорганізмів різних видів. Оскільки вихідний продукт - це газ, збір його не складає труднощів: він просто виділяється у вигляді бульбашок. Втім, іноді при більш складних способах його використання або розподілу по трубах виникає необхідність в очищенні від домішок або в компресії.

Неочищений біогаз зазвичай використовують для приготування їжі та освітлення. Його можна застосовувати як паливо в стаціонарних установках, що виробляють електроенергію. Стиснений газ у балонах придатний як пальне для машин і тракторів. Його можна подавати в газорозподільну мережу. В цьому випадку потрібна деяка очистка біогазу: осушка, видалення вуглекислоти і сірководню. Очищений біогаз нічим не відрізняється від метану з інших джерел.

Якість біогазу визначається в першу чергу вмістом метану або співвідношенням пального метану ( $\text{CH}_4$ ) до «непотрібного» двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ). Двоокис вуглецю розбавляє біогаз і викликає втрати при його зберіганні. Тому важливо прагнути до високого вмісту метану. Досягається зазвичай вміст метану між 50 і 75%.

Вміст метану в біогазі в першу чергу визначається наступними критеріями:

1. *Ведення процесу.* В той час як в одноступінчатих біогазових установка весь процес анаеробного розкладання відбувається в одному ферментаторі одним етапом, і, таким чином, весь газ виділяється як суміш газів, в двоступеневих установках, вироблений на першому етапі газ, складається в значній мірі з двоокису вуглецю та інших енергетично малоцінних газів, які виводяться в навколишнє середовище. Газ, що виробляється на другому етапі має високий відсоток вмісту метану, який може складати і більше 80%;

2. *Склад поживних речовин субстрату.* Кількість і якість виробленого біогазу залежить від кількості внесених речовин та їх складу. Протеїни і жири мають більш високий вміст метану. Для вуглеводних субстратів, можна розраховувати на вміст метану в середньому 53%.

3. *Температура субстрату.* На практиці виявилось, що при високій температурі ферментатора вихід метану більш низький, ніж при низьких температурах. Це відбувається через відмінності в розчинності і утворенням газоподібний двоокису вуглеводню. Чим більша кількість  $\text{CO}_2$  перейде в газоподібну форму, тим меншою буде відсоткова частка  $\text{CH}_4$  в біогазі.

Після метану і двоокису вуглецю, сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ) є найважливішою складовою газу [5]. Сірководень дуже агресивний і викликає корозію, що в першу чергу викликає проблеми з арматурою, газовими лічильниками, пальниками та двигунами. Тому необхідно очищати біогаз від сірки. Очищений від сірки біогаз, майже не має запаху. Газ, який тільки що надійшов з біогазової установки насичений водяною парою. Можливо, що

пара містить також сліди малодосліджених розчинених речовин, здатних викликати проблеми при спалюванні біогазу в котлах та двигунах. Наприклад, в біогазовій установці в Ріпперсхаузене незрозумілим чином утворювалися пухнасті пластівці, які створювали в топці котла товсті нашарування. Знадобилося тривалий час, щоб встановити, що ця «біла сажа» є оксидом кремнію, який виникає внаслідок коферментації силікономістких косметичних мазей. Сушка біогазу конденсацією є дуже важливим кроком по збагаченню газу. За допомогою конденсованої води сепарують також значну кількість аміаку, що міститься в біогазі, який викликає великі пошкодження двигуна, особливо на підшипниках з кольорових металів. Теплота згоряння одного кубометра біогазу еквівалентна згорянню 0,6 літра бензину, 0,85 літрів спирту, 1,7 кг дров.

## 2.2 Оцінка вироблення біогазу з жому

На цукровому заводі планується побудувати біогазову установку з переробки жому. Для того, щоб підрахувати масу жому, яка вийде при переробці 3000 тонн буряка на добу, необхідно знати кількість сухих речовин переходять у жом. Зі 100 кг буряка в жом переходить близько 5 кг сухих речовин [1,2,3]. Пресований жом містить 18-25% сухих речовин, а маса пресованого жому, отриманого з 100 кг буряка складе, кг

---

де  $m_{\text{сух.в}}$  - вміст сухих речовин в 100 кг буряка;

$n$  - вміст сухих речовин в пресованому жомі, в %.

---

Звідси знаходимо кількість пресованого жому на добу, т/доб

---

де  $m_{св.}^{сут.}$  - маса буряків, перероблялася на добу, т.

---

Знаючи масу жому, можемо визначити кількість біогазу, що виробляється з нього,  $m^3$

де  $b_{жом}$  - вихід біогазу з 1 т жома,  $m^3/т$ , ( $b_{жом} = 137 m^3/т$ ).

Крім цього в цій установці будуть перероблятися приблизно 100 тон бурякової гички і 60 тон меляси. Визначимо вихід біогазу з цих компонентів,  $m^3$ :

- з бурякової гички

де  $b_{ботва}$  - вихід біогазу з 1 т бурякової гички,  $m^3/т$ , ( $b_{ботва} = 200 m^3/т$ );

$m_{ботва}$  - маса гички, т.

- із меляси

де  $b_{меласса}$  - вихід біогазу з меляси,  $m^3/т$ ;

$m_{меласса}$  - маса меляси, т.

Тепер можемо знайти сумарний вихід біогазу з біогазової установки,  
м<sup>3</sup>

### 2.3 Опис технології процесу

Отримані відходи цукрового виробництва, будуть направлятися на біогазовий завод. При цьому буде вироблятися біогаз, склад якого буде приблизно таким: :  $\text{CH}_4$  - 55%,  $\text{CO}_2$  - 44%,  $\text{H}_2\text{S}$ - 1%.

Біогазова установка складається з п'яти ферментаторів ємністю 6 тис.м<sup>3</sup> кожен, по два ферментатора в ряду. П'ятий ферментатор використовується як дозріватель.

Жом подається по транспортеру стрічкового типу (рис. 2.1), де встановлені ваги, в подрібнювач.



Рисунок 2.1 – Транспортування жому

Подрібнений жом подається в змішувач, де змішується з мулом, який подається з дозріватель в обсязі 1200 м<sup>3</sup>/доб. Жом після пресів виходить



нагрітим в середньому до  $55^{\circ}\text{C}$ , суміш необхідно попередньо охолодити до  $37^{\circ}\text{C}$ . Ця суміш розділяється на дві частини і подається на дві лінії ферментаторів, які працюють паралельно. У лінії знаходяться два ферментатора (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Ферментатори

Ферментатор розділений знизу на три зони і суміш подається рівні проміжки часу (20 хвилин) в кожну зону (рис. 2.3).

З певної висоти суміш з двох ферментаторів забирається і одна її частина направляється в п'ятий ферментатор, де відбувається остаточна ферментація, а інша частина подається в змішувач. З п'ятого ферментатора суміш перекачується в ями, де раніше зберігався жом. Перед початком наступного сезону, цей мул розпилюють на полях як добриво.



Рисунок 2.3 – Дозування біомаси

Газ з верхньої частини всіх п'яти ферментаторів направляється в газгольдер (рис. 2.4), де підтримується постійний тиск і об'єм.



Рисунок 2.4 – Газгольдер

При переповненні газгольдера, автоматично включаються факельна установка, яка спалює надлишки газу. Після газгольдера газ осушується і прямує до компресорів, які підвищують його тиск від 0,021 МПа до 0,094 МПа. При стисненні газ нагрівається до 63°C. Його охолоджують водою до 25°C. Далі газ направляється на котли.

2.4 Повірений розрахунок котла при спалюванні суміші природного газу та біогазу

2.4.1 Визначення процентного вмісту природного газу та біогазу в суміші

Маючи витрату природного газу, можемо визначити пропорційне співвідношення подаються газів в топку.

При спалюванні всього біогазу (110 000 м<sup>3</sup>/добу) поверхнями котла сприймається, МВт

де  $V_{\text{біогаз}}$  - витрата біогазу, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{\text{біогаз}}^p$  - нижча теплота згоряння біогазу, МДж/м<sup>3</sup>;

$\eta_{br}$  - КПД котла.

Для паропродуктивності 22 т/год необхідно, МВт

де  $V_c$  - витрата природного газу на котел, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{\text{н.пр.г}}^p$  - нижча теплота згоряння природного газу, МДж/м<sup>3</sup>.

Необхідно спалювати додатково природний газ, щоб отримати відсутню потужність, МВт

Знаходимо кількість природного газу,  $\text{м}^3/\text{с}$

\_\_\_\_\_

Визначаємо процентний вміст природного газу в суміші, %

\_\_\_\_\_

Для того, щоб розрахувати процес горіння двох палив, необхідно визначити процентний вміст газів в суміші. Для цього необхідно процентний вміст природного газу та біогазу помножити на відповідні частки газів, що містяться в них:

#### 2.4.2 Розрахунок процесу горіння

З попереднього пункту маємо наступний склад спалюваного газу, %:

$$CH_4 = 58,5;$$

$$CO_2 = 40,9;$$

$$C_2H_6 = 0,1;$$

$$C_3H_8 = 0,06;$$

$$C_4H_{10} = 0,04;$$

$$C_5H_{12} = 0,02;$$

$$N_2 = 0,3.$$

Розрахуємо процес горіння для суміші біогазу і природного газу.  
Питома теплота згорання суміші розраховується за формулою, МДж/м<sup>3</sup>

де  $X_i$  - об'ємна частка горючих складових в паливі, %;

- питома теплота згорання горючих складових  $X_i$  палива, МДж/м<sup>3</sup>.

Щільність палива розраховуємо за формулою, кг/м<sup>3</sup>

де , , , , , , , - відсотковий вміст газів у суміші.

Теоретичний об'єм повітря, необхідний для горіння , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

— — —

—  
Теоретичний об'єм трьохатомних газів,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Теоретичний об'єм азоту знаходимо за формулою (1.3),  $\text{м}^3/\text{м}^3$

—  
Теоретичний об'єм водяної пари,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

— — — —  
Загальний об'єм газів,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Втрати тепла з хімічним недопалом приймемо рівними  $q_3 = 1,5 \%$ .

Розрахунки процесу горіння представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок процесу горіння

Найменування показника	Символ, формула	Значення				
		$\alpha_T=1,10$	$\alpha_K=1,15$	$\alpha_{ЭК}=1,2$	$\alpha'_{ЭК}=1,3$	
Теоретичний об'єм повітря, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{\epsilon}^0$	5,62				
Об'єм трьохатомних газів, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{RO2}$	1,00				
Теоретичний об'єм азоту, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{N2}$	4,44				
Теоретичний об'єм водяної пари, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{H2O}^0$	1,18				
Надлишок повітря, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\Delta V_{\epsilon}=(\alpha-1)V_{\epsilon}^0$	0,562	0,843	1,124	1,686	
Надлишковий об'єм парів, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\Delta V_{H2O}=0,016\Delta V_{\epsilon}$	0,009	0,013	0,018	0,027	
Реальний об'єм сухих газів, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{c.2}=V_{RO2}+V_{N2}+\Delta V_{\epsilon}$	6,002	6,283	6,564	7,126	
Реальний об'єм парів, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{H2O}=V_{H2O}^0+\Delta V_{H2O}$	1,189	1,193	1,198	1,207	
Загальний об'єм газів, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$V_{z.2}=V_{c.2}+V_{H2O}$	7,191	7,476	7,762	8,333	
Об'ємні частки	трьохатомних газів	$r_{RO2}=V_{RO2}/V_{z.2}$	0,139	0,133	0,128	0,12
	парів	$r_{H2O}=V_{H2O}/V_{z.2}$	0,164	0,158	0,152	0,142
	загальні	$r_t=r_{RO2}/r_{H2O}$	0,848	0,842	0,842	0,845
Температура точки роси, °C	$t_{m.p}=f(p_{H2O}=r_{H2O})$	58	57	56	55	
Щільність газів, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_g=(\rho^c+1,293\alpha \cdot V_{\epsilon}^0)/V_{z.2}$	1,31	1,312	1,310	1,307	

### 2.4.3 Тепловий баланс котла

Прийmemo температуру вихідних газів як і в попередньому пункті дорівнює  $165^{\circ}\text{C}$ . Ентальпія газів при даній температурі дорівнює  $1920 \text{ кДж/м}^3$ . Враховуючи це розрахуємо втрати теплоти з ентальпією вихідних газів, %

---

Втрати тепла через зовнішнє охолодження поверхонь котла прийmemo як у попередньому пункті  $q_5=1,636 \%$  [9].

Розраховуємо ККД бруто котла, %

---

Розраховуємо витрату палива на котел,  $\text{м}^3/\text{с}$

---

Для визначення об'ємів продуктів згоряння та повітря, а так само відданого тепла газами в поверхнях нагріву, вводиться розрахункова витрата палива, обчислювана з урахуванням хімічного недопалу,  $\text{м}^3/\text{с}$

---



## 2.5 Розрахунок ступеня парової турбіни, що встановлена на ТЕЦ ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний»

Основним обладнанням теплоелектроцентралі є парова турбіна, ступень якої необхідно розрахувати в умовах роботи парового котла на суміші природного газу та біогазу.

### 2.5.1 Розрахунок ступеня парової турбіни

Визначемо початкову  $h_0=3000$  кДж/кг і кінцеву  $h_{02}=2945$  кДж/кг ентальпії, а також тепло перепади, що доводяться:

- на турбінний щабель, кДж/кг

$$=3000-2945=55;$$

- на соплові ґрати, кДж/кг

$$=(1-0,3) \cdot 55 = 38,5;$$

- на робочі ґрати, кДж/кг

$$=0,3 \cdot 55 = 16,5.$$

Користуючись діаграмою стану пари й  $h-s$  діаграмою, визначено параметри пари перед і за сопловими й робочими ґратами.

$P_0=2,8$ МПа	$P_1=2,55$ МПа	$P_2=2,35$ МПа
$t_0=300^\circ\text{C}$	$t_1=280^\circ\text{C}$	$t_2=270^\circ\text{C}$
$v_0=0,085$ м <sup>3</sup> /кг	$v_1=0,095$ м <sup>3</sup> /кг	$v_2=0,1$ м <sup>3</sup> /кг

Фіктивна швидкість парового потоку (швидкість, еквівалентна всієї розташовуваної енергії ступеня), що відповідає його адіабатному розширенню на турбінному ступені, м/с

$$\frac{U_{\text{ф}}}{C_{\text{а}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (2.15)$$

Якщо кінетична енергія на вході перед ступенем повністю використовується, то  $\eta = 1$ . Значення  $\eta$  приймається в межах  $0,42 \dots 0,48$ ; причому більше приймають для турбін підвищеної економічності. Приймаємо значення  $\eta = 0,43$ . Значення  $\eta$  виражає відношення швидкостей  $U/C_{\text{а}}$ , де  $U$  - окружна швидкість, м/с.

На підставі прийнятого значення  $\eta$  окружна швидкість на середньому діаметрі, м/с

Середній діаметр облопачування ступеня, м

$$D_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ф}}}{\eta \cdot C_{\text{а}}}$$

Теоретична швидкість витікання пари з каналів соплових ґрат, м/с

$$C_{\text{т}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

Дійсна швидкість пари на виході із соплових каналів, м/с

де  $\varphi$  - коефіцієнт швидкості пари на вході в робочі грати.

Вибираємо кут виходу парового потоку із соплових грат  $\alpha_1=11^\circ$ .

Вибираємо ступінь парціальності  $\varepsilon=1$  і коефіцієнт витрати соплових грат  $\mu=0,97$ .

Висота соплових грат, мм

\_\_\_\_\_

Відносна швидкість пари на вході в робочі грати, м/с

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Кут входу пари на робочі лопатки, град

\_\_\_\_\_

Кут виходу пари з робочих лопаток, град

Теоретична швидкість пари на виході з робочих лопаток, м/с

\_\_\_\_\_

Дійсна відносна швидкість пари на виході з робочих лопаток, м/с

де  $\psi$  - коефіцієнт швидкості пари в робочих ґратах .

Значення  $\psi$  ставиться до швидкості пари на робочих лопатках  $W_2$  близько 500 м/с.

Уточнюємо дійсну швидкість пари на виході з робочих ґрат, м/с

Знаходимо значення проекції  $C_2$  на аксіальний напрямок, м/с

\_\_\_\_\_

Уточнюємо кут виходу пари з робочих лопаток, град

\_\_\_\_\_

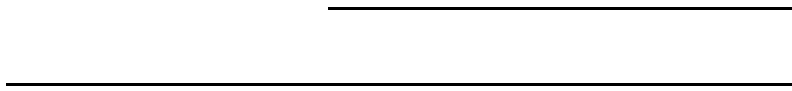
Після цього уточнюємо коефіцієнт швидкості пари на виході з робочих лопаток  $\psi$ , що відповідає отриманому уточненому значенню кута  $\beta_2$  з урахуванням поправочного коефіцієнта  $k$

Погрішність визначення коефіцієнта

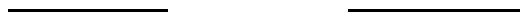
\_\_\_\_\_

Уточнюємо дійсну швидкість пари на виході з робочих грат, м/с

Абсолютна швидкість пари на виході з робочих лопаток, м/с



Зі співвідношення  $\sin\alpha_2 = (W_2 \cdot \sin\beta_2) / C_2$  визначаємо кут напрямку абсолютної швидкості \_\_\_\_\_, град



Із трикутників швидкостей знаходимо проекції швидкостей  $Z_1$  і  $Z_2$  на окружний й аксіальний напрямок, м/с:

Трикутники швидкостей пари на виході з робочих грат представлено на рисунку 2.5.

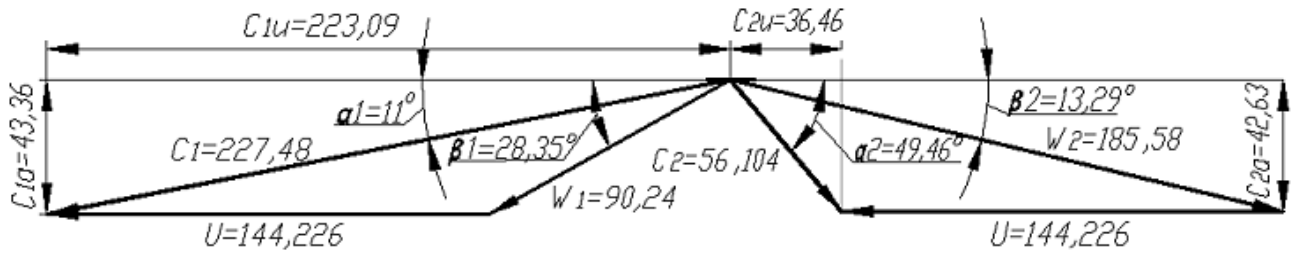


Рисунок 2.5 - Трикутники швидкостей пари на виході з робочих грат

### 2.5.2. Визначення втрат і кпд ступеня турбіни

Втрати в соплових каналах, кДж/кг

\_\_\_\_\_

Втрати на робочих лопатках, кДж/кг

\_\_\_\_\_

Втрати с вихідною швидкістю, кДж/кг

\_\_\_\_\_

Коефіцієнти втрат, виражені в частках розташовуваної енергії:

- у соплових гратах

\_\_\_\_\_

- у робочих гратах

— —

- з вихідною швидкістю

— —

Відносний лопатковий ККД

— — — —

— — — —

де  $\Delta h_u$  - використаний теплоперепад, віднесений до вінців робочих грат, кДж/кг

де - коефіцієнт використання вихідної швидкості попереднього не регулюючого ступеня (для першого ступеня  $=0$ );

- коефіцієнт використання вихідної швидкості розглянутого ступеня ( $=0,75...0,8$ );

- енергія пари, що доводиться на щабель, кДж/кг

Для визначення відносного внутрішнього ККД ступеня знаходимо втрати енергії на тертя й вентиляцію, витік пари через внутрішні зазори в діафрагмових і радіальних ущільненнях.

Потужність, затрачувана на тертя й вентиляцію в ступені при ступені парціальности  $=1$ , кВт

$$\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{вент}}} = \frac{1}{\eta_{\text{в}}}$$

де  $\eta_{\text{в}}$  - коефіцієнт, значення якого для перегрітої пари дорівнює  $1,1 \dots 1,2$ ; для насиченої пари -  $1,3$ ;

$d$  - діаметр диска, обмірюваний посередині лопаток, м

$\rho$  - щільність середовища, у якій обертається диск,  $\text{кг/м}^3$

$$\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{вент}}} = \frac{1}{\eta_{\text{в}}}$$

Втрати на тертя й вентиляцію,  $\text{кДж/кг}$

$$\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{вент}}} = \frac{1}{\eta_{\text{в}}}$$

Втрати на тертя й вентиляцію в частках розташовуваної енергії

$$\frac{P_{\text{тр}}}{P_{\text{вент}}} = \frac{1}{\eta_{\text{в}}}$$

Втрати на витік пари в діафрагмових і радіальних ущільненнях виражаються в частках розташовуваної енергії на щабель



де  $\alpha$  - коефіцієнт витрати пари в ущільненнях діафрагм,  $\alpha = 0,81$ ;

$F_{\text{дф}}$  - площа кільцевого зазору діафрагмового ущільнення,  $\text{м}^2$

;

$d_{\text{дф}}$  - діаметр по діафрагмового ущільненню (залежить від конструктивних особливостей турбін), приймається в межах  $0,4 \dots 0,6$  м;

$\delta$  - радіальний зазор в ущільненні (приймається  $0,5$  мм);

$\alpha_{\text{гр}}$  - коефіцієнт витрати пари в соплових ґратах (згідно з експериментальними даними  $\alpha_{\text{гр}} = 0,96 \dots 0,98$  для перегрітої пари й  $1,02 \dots 1,04$ -для вологого);

$F_{\text{гр}}$  - вихідний перетин соплових ґрат,  $\text{м}^2$

$z_1$  - число ущільнювальних гребінців у діафрагмі (приймається 4).

Абсолютна величина втрат у діафрагмових ущільненнях,  $\text{кДж/кг}$

Втрата на витік пари в радіальних ущільненнях робочих лопаток

де  $W_{\text{рл}}$  - абсолютна величина витоку пари в радіальних ущільненнях робочих лопаток,  $\text{кг/с}$ ;

$\alpha_{\text{рл}}$  - коефіцієнт витрати пари в зазорах радіальних ущільнень,  $\alpha_{\text{рл}} = 0,81$ ;

$F_{\text{рл}}$  - площа кільцевого зазору радіального ущільнення,

- число ущільнювальних гребінців (приймається 4);
- ступінь реактивності на периферії ступеня



Абсолютна величина втрат від витoku в радіальних ущільненнях, кг/с

Відносний внутрішній ККД ступеня

Використаний тепलोперепад у ступені, кДж/кг

Внутрішня потужність ступеня, кВт

На рисунку 2.6 представлено відображення реального теплового процесу в ступені турбіні на  $h$ -діаграмі.

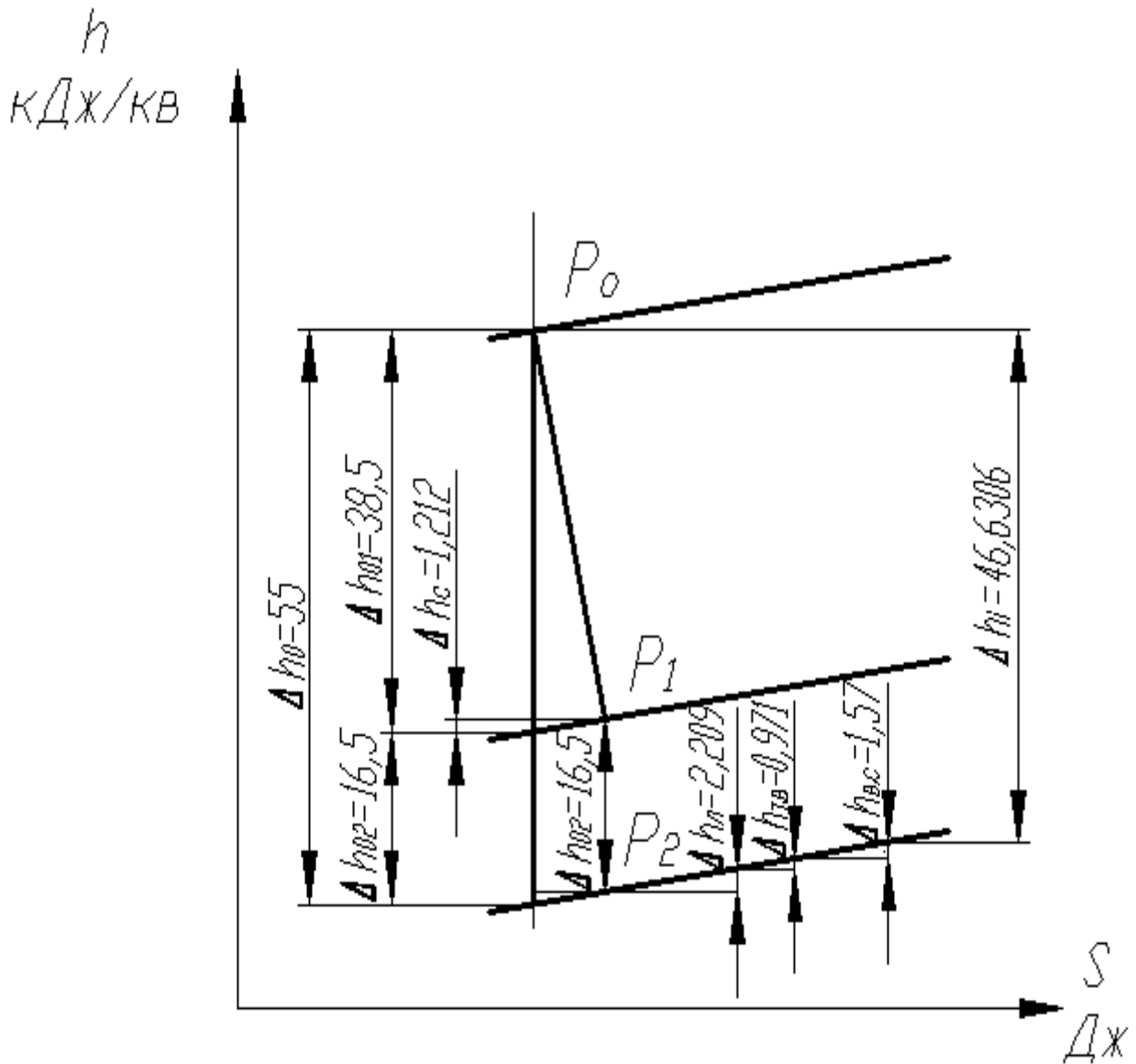


Рисунок 2.6 – Реальний процес в ступені парової турбіни

### 2.5.3. Розрахунок розмірів проточної частини ступеня турбіни

Для визначення режиму руху парового струменя в ступені визначаємо відношення тиску пари на виході із ступеня до тиску на її вході  $P_1/P_0$ .

Визначаємо число Маху для соплових ґрат

— — — — —

де  $c$  - швидкість поширення звуку у вихідному перетині соплових грат, м/с

\_\_\_\_\_

Перевіряємо вихідну висоту соплових грат, м

\_\_\_\_\_

За отриманим значенням числа Маху  $M_{cl}$  і кута входу потоку пари (кут нахилу соплових лопаток) підбираємо профіль соплової лопатки С-90-12А (рис. 2.7).

Для обраного профілю лопатки беремо величину відносного кроку й оптимальний кут установки

—

де  $h$  – хорда профілю соплової лопатки ( $h = 45$  мм).

Визначаємо крок соплових грат, мм

Кількість напрямних лопаток, шт

\_\_\_\_\_

Остаточний крок грат

Залежно від значення числа Маху й кута виходу потоку пари визначаємо характеристики профілю соплової лопатки.

Для побудови профілю визначимо коефіцієнт подоби

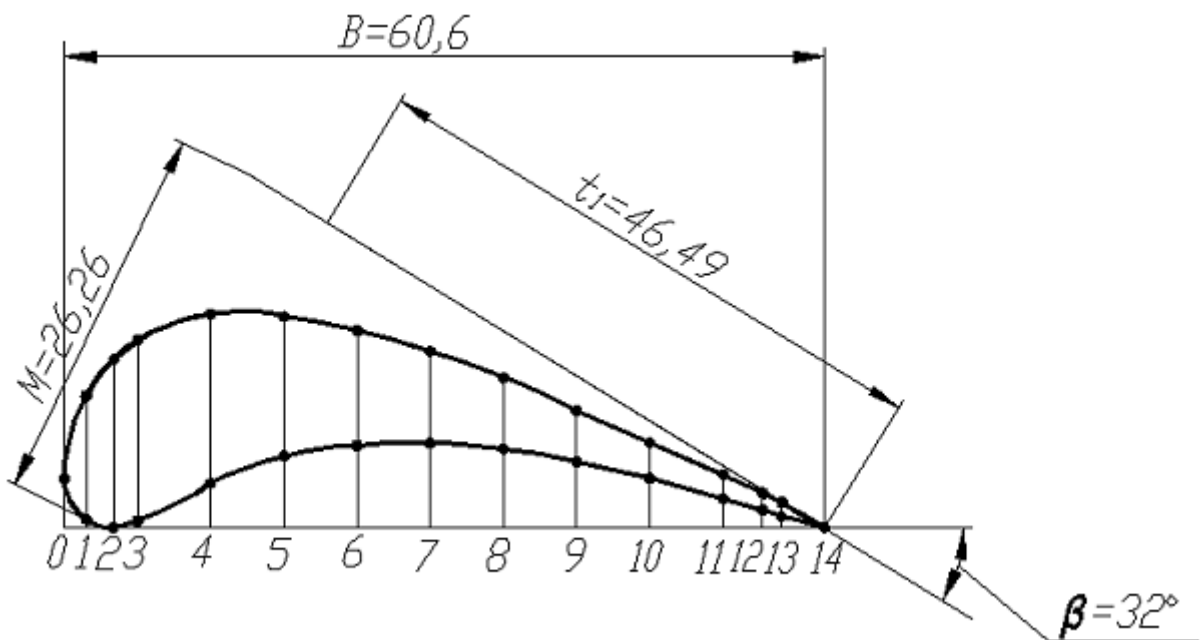


Рисунок 2.7 - Профіль соплової лопатки С-90-12А

Значення  $M$  визначається по формулі

де  $\beta$  - кут установки соплової лопатки . Приймаємо оптимальний кут  $\beta=35$  [8].

Визначаємо вихідний перетин каналів робочих грат, м<sup>2</sup>

$$\frac{F_{\text{вих}}}{F_{\text{вх}}} = \dots$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт витрати пари в робочих гратах ( $\alpha = 0,8$ ).

Розрахункова вихідна висота робочих грат, мм

$$h_{\text{вих}} = \dots$$

Швидкість поширення звуку в робочих гратах, м/с

$$c = \dots$$

Число Маху для робочих грат

$$M = \dots$$

Підбираємо профіль робочої лопатки Р-23А (рис.2.8).

Для обраної лопатки визначаємо величину відносного кроку

$$\lambda = \dots$$

Де  $U$  - хорда профілю робочої лопатки ( $B = 25,7$  мм).

Для обраної лопатки крок робочих грат, мм

Кількість робочих лопаток, шт

\_\_\_\_\_

Уточнюємо остаточний крок ґрат, мм

\_\_\_\_\_

Для побудови профілю визначимо коефіцієнт подоби

— —

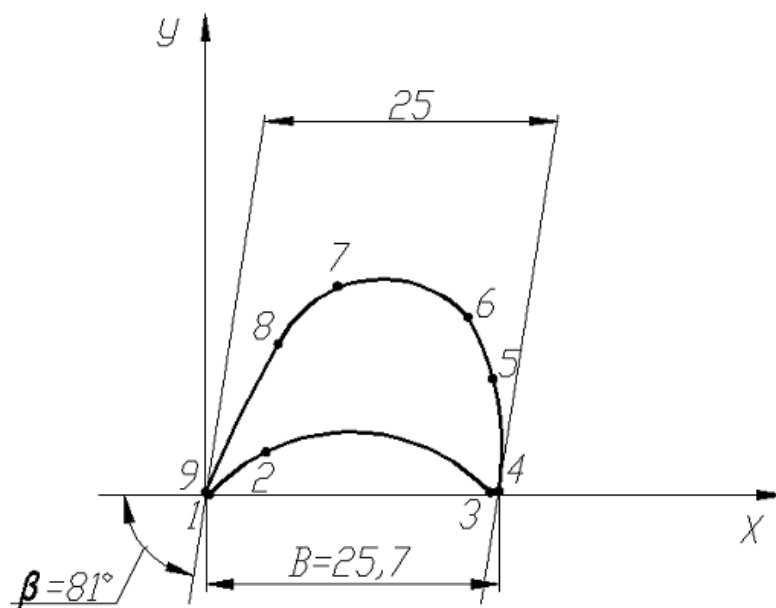


Рисунок 2.8 - Профіль соплової лопатки Р-23А

## 2.6 Використання біогазу для когенерації

### 2.6.1 Когенераційні установки та їх застосування

Також пропонується встановити когенераційну установку.

Когенерація - це одночасне вироблення тепла і електроенергії. Електроенергію можуть виробляти газопоршневі, газодизельні двигуни, газові турбіни, що визначається потужностним рядом споживання. Одночасно вони є джерелом скидного тепла, яке утилізується котлом-утилізатором. По класу енергетичних установок дані когенераційні установки відносяться до класу міні-ТЕЦ. ККД когенераційних установок складає 92-95% за рахунок одночасного виробництва електроенергії та тепла. Паливом для когенераційних установок служить природний газ, а також біогаз, що є альтернативою природному газу, як джерела енергії.

Когенераційна установка виконується, як правило, на базі газової турбіни, газодизельного або газопоршневого двигуна і складається з силового агрегату, мікротурбіни або відповідного двигуна, генератора, теплообмінника і системи управління. У газотурбінних установках (ГТУ) основна кількість тепла відбирається із системи вихлопу. У газопоршневих, газодизельних відбір теплової енергії відбувається від масляного радіатора, а також від системи охолодження двигуна.

#### 2.6.1 Типи когенераційних установок

Газопоршневі і газодизельні двигуни можуть працювати на природному газі. При цьому виробництво електроенергії є основним завданням, скидна теплота утилізується котлом утилізатором для потреб опалення та гарячого водопостачання. Потужностний ряд цих установок 250 - 1000 кВт. Ці ж двигуни можуть працювати і на генераторному газі (біогазі). Для цього вони повинні бути оснащені газогенераторами, що



виробляють цей газ за методом холодного піролізу з подальшим його очищенням від супутніх смол.

Експлуатаційні характеристики когенераційної установки з газопоршневим двигуном:

- когенераційна установка с газопоршневим двигуном JMS 320-GS;
- потужність – 1200 кВт;
- моторесурс до капітального ремонту 80 000 год;
- витрати палива -200 м<sup>3</sup>/год.

Кожна когенераційна установка на базі газопоршневих або газодизельних двигунів складається з власне газогенератора безперервної дії з безперервною подачею палива, системи очищення газу перед використанням його в газодизельному двигуні, газопоршневому двигуні або пальнику, і системи контролю і управління. Газогенератор перетворює паливо в генераторний газ. Завантаження палива в газогенератор здійснюється вручну або за допомогою пневматичного або шнекового транспортера в залежності від його потужності.

## 2.6.2 Характеристика альтернативних джерел енергії для газогенераторних когенераційних установок

У біопаливі безпосередньо реалізується сонячна енергія, накопичена рослинами в процесі росту. Це природня деревина, торф, а також промислові відходи деревообробної промисловості, лігоспів, сільськогосподарського виробництва.

Рекомендується спалювати паливо з вологістю не більше 15-20%. Складність утилізації дрібнодисперсних рослинних залишків у вигляді тирси, соломи, торфу, насінневої лушпиння вирішується на шляху формування з них гранул, званих пеллетами.

Методи газифікації, піролізу рослинної біомаси дозволяють отримувати паливо у вигляді генераторного газу.

В якості біомаси можуть використовуватися відходи деревообробної промисловості, лісгоспів, сільськогосподарського виробництва.

На кількість генераторного газу в значній мірі позначається вологість паливного матеріалу. Так, суха тріска дає  $1,5 \text{ нм}^3/\text{кг}$  газу, а волога – лише  $1,8 \text{ нм}^3/\text{кг}$ .

Склад генераторного газу, як правило [10]:

- CO        18,1-19,5%;
- CO<sub>2</sub>     11,8-12,8%;
- CH<sub>4</sub>      1,4-2,4%;
- H<sub>2</sub>        16,2-18,5%;
- N<sub>2</sub>        47,1-51,3%.

У сучасних когенераційних установках генераторний газ безпосередньо надходить в газопоршневий або газодизельний двигун, де і спалюється, виробляючи електрику і тепло.

В основу роботи газогенераторної когенераційної установки покладено принцип піролізної сублимації палива, сенс якої полягає в тому, що під дією високої температури та в умовах дефіциту кисню суха рослинна маса виділяє летючу частина – звану генераторним (піролізним) газом.

Так, піроліз деревини відбувається при температурі 200 - 800°C.

Піроліз – процес екзотермічний, що проходить з виділенням тепла, за рахунок чого, поліпшується прогрівання і сушка палива в газогенераторі.

В результаті протікання процесу піролізу виділяється мінімальна кількість золи, сажі та нагару, тому газогенератор не має потреби в очищенні.

### 2.6.3 Енергоефективність, переваги когенераційної установки.

Робота когенераційної установки характеризується ККД, що дорівнює 92-95%. Переваги когенераційних установок лежать, перш за все, у сфері економіки. Істотна різниця між капітальними витратами на енергопостачання від мереж і енергопостачання від власного джерела полягає в тому, що

капітальні витрати, пов'язані з придбанням когенераційної установки, відшкодовуються, а капітальні витрати на підключення до мереж безповоротно втрачаються при передачі новозбудованих підстанцій на баланс енергетичних компаній. Когенераційна установка повинна покривати 50-70% від максимальної щорічної потреби в тепловій енергії, а решта 30-50% доцільно забезпечити водогрійним котлом.

Робота когенераційної установки на генераторному газі також пов'язана з низкою переваг:

- низька вартість нетрадиційних видів палива в порівнянні з природним газом;

- повсюдність застосування: робота і підбір газогенераторної когенераційної установки визначається місцевою енергетичною ресурсною базою: наявністю відходів деревообробної промисловості, лісгоспів, сільськогосподарського виробництва, корисні копалини (торф, буре, кам'яне вугілля і т.д.). Організація виробництва пелет робить можливим повсюдне застосування подібних установок, що працює на пеллетном паливі.

Робота когенераційних установок на природному газі визначається наявністю підведення до об'єкта природного газу:

- газогенераторна когенераційна установка на рослинних видах палива не тільки економить фінансові та матеріальні, але і зберігає здоров'я жителям прилеглих територій в порівнянні зі спалюванням вугілля і природного газу;

- універсальна газогенераторна когенераційна установка здатна працювати на різних видах твердого палива: вугіллі, пелетах, дровах, трісках, торфі.

Режими роботи когенераційних установок:

- монорежим: когенераційна установка є єдиним джерелом енергії для потреб електропостачання, опалення та ГВП;

- бівалентний-паралельний режим: даний режим може бути застосований на об'єкті, де вже існує газова котельня. Загальна потреба в теплі забезпечується когенераційною установкою і водогрійним газовим

котлом. Основне джерело тепла - когенераційна установка. Водогрійний газовий є допоміжним джерелом;

- бівалентний-альтернативний режим: даний режим може бути застосований на об'єкті, де вже існує газова котельня. У цьому випадку газогенераторна когенераційна установка працює в моно-режимі. При відсутності твердого палива опалення здійснюється на базі газового котла.

## 2.7 Вибір і розрахунок ДВЗ при спалюванні біогазу

### 2.7.1 Вибір ДВЗ

Як вже було сказано, в період роботи цукрового заводу біогаз буде спалюватися в парових котлах. В інший час, біогаз пропонується спалювати в когенераційних установках. Робиться це з наступних міркувань:

по-перше, виробленого біогазу не вистачить для роботи парових котлів і турбоагрегату;

по-друге, для підвищення ККД вироблення електричної і теплової енергії.

Для того, щоб визначити потужність когенераційних установок, необхідно розрахувати кількість біогазу, який буде вироблено за 265 днів (час, який цукровий завод не працює). Дана кількість біогазу залежить від кількості жому, яку передбачається перевозити з цукрового заводу міста Крижополь. Перевезено буде приблизно 60 000 тон жому.

Розрахуємо приблизну кількість біогазу, що може бути вироблено з цієї кількості жому, м<sup>3</sup>

А це приблизно 0,36 м<sup>3</sup>/с (враховуючи, що дана кількість біогазу буде спалюватися за 265 діб).

Вивчивши ринок газопоршневих установок, було прийнято рішення використовувати в даному проекті когенераційні модулі австрійської фірми Jenbacher, так як дана фірма пропонує лінійку установок, спеціально призначених для спалювання біогазу. Виходячи з розрахованої вище витрати палива, було вибрано два когенераційні установки Jenbacher 420 GS-B.LC, Biogas 1,416 кВт (Австрія), спеціально призначені для спалювання біогазу. На цих установках можна так само спалювати і природний газ. Характеристики установки представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Характеристика установки Jenbacher 420 GS-B.LC

Характеристики установки	Значення параметрів	Одиниці вимірювання
Номінальна потужність установки	1416	кВт
Теплова потужність	1460	кВт
Електричний ККД	42,0	%
Термічний ККД	43,2	%
Загальний ККД установки	85,2	%
Характеристики мотора GE Jenbacher Gasmotor J 420 GS A21		
Дизайн	V 70°	
Кількість циліндрів	20	шт
Діаметр поршня	145	мм
Хід поршня	185	мм
Частота обертання коленвала	1500	об/хв
Швидкість поршня	9,25	м/с
Коефіцієнт стиснення	12,5	
Витрата масла	0,3	г/кВт
Витрати палива	612	м <sup>3</sup> /год
Суха вага мотора	6,600	кг
Характеристики генератора PE 734 F2		
Модель		
ККД при $\cos\varphi=1,0$	97,6	%
ККД при $\cos\varphi=0,8$	96,8	%
Частота	50	Гц
Напруга	400	В
Маса	3807	кг

На даних установках біогаз буде спалюватися поза сезону роботи цукрового заводу. Під час же роботи цукрового заводу на ДВЗ буде спалюватися природний газ, з метою більш повного використання його енергії. Електрична енергія, буде продаватися в мережу, а теплова використовуватися для ГВП селища і на потреби біогазового заводу (коли необхідно).

### 2.7.2 Розрахунок процесів наповнення і стиснення в камері згоряння ДВЗ

Перед початком впуску в обсязі камери згоряння  $V_e$  знаходяться продукти згоряння, що залишилися від попереднього циклу, які називаються остаточними газами. Тиск залишкових газів трохи менше атмосферного. Після проходження верхньої мертвої точки (ВМТ), поршень починає рухатися до нижньої мертвої точки (НМТ). У цей момент механізмом газорозподілу відкривається впускний клапан. Завдяки руху поршня до НМТ, камера згоряння наповнюється нової порції робочої суміші.

Визначимо основні параметри суміші в процесі наповнення камери згоряння. Тиск суміші після компресора знаходиться за формулою, Па

де  $P_o$  - тиск навколишнього середовища, Па.

Температура суміші на вході в камеру згоряння, К

де  $T_o$  - температура навколишнього середовища,  $K$ ;

$n$  – показник політропи.

\_\_\_\_\_

Тиск на початку процесу стиснення, Па

Коефіцієнт наповнення

\_\_\_\_\_

де  $\varepsilon$  - ступінь стиснення;

$T_r$  - температура залишкових газів,  $T_r = 700 - 1000$ ,  $K$  ;

$\Delta T$  - підвищення температури суміші від стінок циліндра,  $K$ .

\_\_\_\_\_

Температура суміші на початку стиснення,  $K$

\_\_\_\_\_

де  $\gamma_g$  - коефіцієнт який показує, яка кількість газів залишилася в циліндрі після завершення процесу випуску, для чотиритактних двигунів він дорівнює приблизно 0,2.

---

Під час другого такту, в циліндрі має місце процес стиснення, крім цього, на початку процесу триває наповнення камери робочим тілом з камери згоряння, а в кінці стиснення починається процес горіння палива. Процес стиснення в камері згоряння - це адіабатний ізоентропний процес, звідси випливає що  $n=k_1$ .

---

де  $k$  – показник адіабати;

$a, b$  – емпіричні значення,  $a= 20,16$ ,  $b= 1,738 \cdot 10^{-3}$  ;

$T_a$  - температура суміші на початку стиснення, К;

$\varepsilon^k$  - ступінь стиснення в адіабатні процесі.

---

Тиск в кінці стиснення, Па

де  $P_a$  - тиск на початку процесу стиснення, Па.



Температура в кінці стиснення, К

### 2.7.3 Розрахунок процесу горіння

Розрахунок процесу горіння в двигунах внутрішнього згорання проведемо так само як і для енергетичних котлів, так як використовується один і той же тип палива, але при більшому коефіцієнті надлишку повітря.

Теоретичний об'єм повітря необхідний для процесу горіння ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Реальний об'єм повітря, необхідний для процесу горіння знайдемо за формулою,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

де  $\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря.

Теоретичний об'єм трьохатомних газів ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Теоретичний об'єм водяної пари,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Реальний об'єм водяної пари знаходиться за формулою,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Теоретичний об'єм азоту,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Теоретичний об'єм кисню,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

Загальний об'єм газів знаходиться як сума всіх газів входять в суміш,  
 $\text{м}^3/\text{м}^3$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни знаходимо за формулою

—

—

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни розраховуємо по формулі

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Прийmemo середню температуру суміші в процесі горіння рівну  $T_z = 1900$  К. Коефіцієнт підвищення тиску в камері згоряння знаходимо за формулою:

$$\frac{p_z}{p_c} = \frac{T_z}{T_c}$$

де  $T_c$  - температура в кінці стиснення, К.

$$p_z = p_c \frac{T_z}{T_c}$$

Максимальний тиск у верхній мертвій точці, Па

де  $P_c$  - тиск в кінці стиснення, Па.

#### 2.7.4 Процес розширення

У процесі розширення газу тиснуть на поршень до досягнення ним нижньої мертвої точки. Тиск і температура газів при цьому зменшуються.

Коли поршень досяг нижньої мертвої точки починається процес вихлопу газів з циліндра.

Ступінь попереднього розширення знайдемо за такою формулою

$$\frac{V_2}{V_1} = \dots$$

Ступінь подальшого розширення

$$\frac{V_3}{V_2} = \dots$$

Показник політропи розширення знайдемо за формулою,

$$\dots$$

де  $n$  – частота обертів, в об/с.

$$\dots$$

Температура газів в кінці розширення знаходиться за наступною формулою, К

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Тиск газів в кінці процесу розширення, Па

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### 2.7.5 Тепловий баланс двигуна

Відомо, що з усієї енергії, що виділилася в процесі згоряння палива, тільки частина перетвориться в корисну механічну роботу, інша енергія витрачається на покриття різних втрат. Розподіл енергій, переданих мотором в навколишнє середовище, виражається через тепловий баланс.

У самому простому випадку тепловий баланс може бути представлений за допомогою рівняння, в якому представлені тільки значення енергій, підведених до мотору і переданих мотором доквіллю, кВт

де  $Q_c$  - тепловий потік, підведений з паливом, кВт;

$Q_{эл}$  - тепловий потік, перетворений в корисну механічну енергію, відповідну потужності двигуна, кВт;

$Q_{yx}$  - втрати тепла з газами, кВт;

$Q_{охл}$  - втрати тепла з охолоджувальною водою, кВт;

$Q_r$  - решта втрат (втрати випромінюванням з поверхні двигуна), кВт.

Тепловий потік, що виділилася при спалюванні палива знаходиться за наступною формулою, кВт

де  $V_c$  - витрати палива, м<sup>3</sup>/с;

$Q_n^p$  - нижча теплота згоряння палива, кДж/м<sup>3</sup>.

Потік тепла, який виконав корисну механічну роботу, кВт

— ———

де  $\eta_z$  - ККД генератора;

$P_e$  - потужність на клеммах генератора.

Втрати тепла з газами, кДж/м<sup>3</sup>

де — - ентальпія відхідних газів, кДж/м<sup>3</sup>;

— - ентальпія повітря, кДж/м<sup>3</sup>.

Втрати тепла з охолоджувальною водою розраховується за формулою,  
кВт

де  $D_{охл}$  - витрата охолоджуючої води, кг/с;

$c_p$  - питома теплоємність охолоджуючої води, кДж/(кг·К);

$t_{под}$ ,  $t_{возер}$  - температура води на вході і на виході теплообмінника відповідно, °С.

Невраховані втрати знайдемо за такою формулою, кВт

де  $Q_e$  - потік тепла, який виконав корисну механічну роботу, кВт.

Коефіцієнти корисної дії знаходяться за формулами:

- ефективний ККД

—

де  $Q_e$  - потік тепла, який виконав корисну механічну роботу, кВт;

$Q_c$  - потік тепла, підведений з паливом.

—————

- термічний ККД

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- відносний внутрішній ККД

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- індикаторний ККД

- електричний ККД

Коефіцієнт використання тепла палива



---

---

### 3 КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І АВТОМАТИКА

Тип автоматичного пристрою вибирають з урахуванням особливостей об'єкту управління. Перевагу слід віддавати однотипним, централізованим і таким пристроям, що серійно випускаються. Це значно спростить постачання і експлуатацію. У зв'язку з тим, що процес нагріву пари не належить до пожежо та вибухонебезпечних, автоматизація здійснюється на основі використання електричних засобів.

Джерела енергії в електричних засобах автоматизації простіші і надійніші. Відсутні обмеження по відстані між підсилювачем і виконавчим механізмом. Електричні регулятори дозволяють легко підсумовувати різні імпульси. Для регулювання використовуються регулятори РС29. Вони володіють високою точністю і виконують функції: масштабування сигналу від датчика, алгебраїчне підсумовування, введення сигналу завдання, формують і підсилюють сигнал розшаровування, світлову індикацію виходу. З регуляторами РС29 працюють електричні виконавчі механізми типу МЕО. Для надлишкового тиску використовуються датчики типу Метран 100 – ДИ.

Регулювання температури пари зміною витрати газу залежно від температури, в якості чутливого елемента використовується аналоговий термперетворювач температури типу ТСПУ–Метран–276 (поз. 3). Ці перетворювачі призначені для виміру температури нейтральних і агресивних середовищ, по відношенню до яких матеріал захисної арматури є корозійностійким. Чутливий елемент первинного перетворювача і вбудований в голівку датчика вимірювальний перетворювач перетворюють вимірювану температуру в уніфікований вихідний сигнал постійного струму, що дає можливість побудови АСУТП без вживання додаткових нормуючих перетворювачів.

Контроль тиску пари необхідний для того, щоб визначити, чи є витрата пари. При зменшенні витрати тиск знижується. Контроль тиску повітря після дугтьового вентилятора необхідний для визначення роботи вентилятора.

Пониження тиску відбувається в разі відключення вентилятора або закриття його направляючого апарату при несправності регулятора повітря. При зниженні тиску повітря може відбутися його погасання.

В якості виконавчого механізму вибирається електричний однооборотний типу МЕО 40/10-0,25 (ЗР3). Як поворотно-регулююча заслінка вибирається ПРЗ-150 (ЗР4), яка вибирається залежно від тиску і діаметру трубопроводу. Для регулювання тиску повітря залежно від витрати палива і вмісту кисню в димових газах, як вимірювальний перетворювач тиску повітря використовується перетворювач типа Метран – 100 – ДИ (поз. 14).

У системі автоматичного регулювання розрідження в топці котла відведенням димових газів в якості перетворювача застосовується перетворювач типу Метран – 100 – ДИ (поз. 15).

У системі автоматичного контролю і сигналізації витрати газу датчиком є камерна діафрагма типа ДКС 10-150 (поз. 6).

Датчиком автоматичного контролю температури димових газів використовується термоперетворювач типа ТСПЕ-Метран-276 (поз. 11, 12).

Система захисту вибираються датчики-реле. В якості датчика-реле тиск живильної води, тиск повітря, тиск газу – ДРД -400А.

Після переведення перемикача щиту автоматики котла в положення «Пуск» в нижньому рядку дисплея контролера відобразиться час, що залишився до завершення поточного етапу.

На етапі «Вентиляція топки» послідовно виконуються наступні дії:

1) Одночасно видаються команди на пуск перетворювача частоти димососа типу Altivar – 31 (4Р3), включення регулятора розрідження (поз. 15), включення пальника пуск автомата LGB, відкриття направляючого апарату димососа і відкриття засувки пари через котел.

2) Формується витримка часу 30 секунд для обробки регулятором розрідження заданої установки задається «Параметри пуску» для вентиляції топки приблизно за цей же час автомат пальника LGB переміщає заслінку повітря в положення «Відкрита повністю».

На етапі «Робота автомата пальника» автоматом LGB послідовно виконуються дії:

- формується витримка часу 36 секунд для вентиляції котла при повністю відкритій заслінці повітря і заданому розрідженні в топці,
- перевірка газових клапанів на герметичність,
- після закінчення вентиляції заслінка повітря переміщається в позицію запалення,
- розпалення газу запальника 4 сек,
- відкриття основних газових клапанів подачі газу в топку, на етапі «Контроль включення» контролюється відкриття основних газових клапанів вони можуть бути відкриті лише, якщо є полум'я в топці.

Перехід з етапу «Робота автомата пальника» на етап «Контроль включення» відбувається в двох випадках: після відкриття газових клапанів або через 240 сек., якщо немає сигналу відкриття газових клапанів. У останньому випадку подальша робота автоматики блокується і на дисплей контролера випариться повідомлення «Відмова автомата пальника».

На етапі «Перехід на мале горіння» здійснюється переведення заслінок газу і повітря в позицію «Мале горіння».

На етапі «Прогрівання» регулятором температури здійснюється плавне регулювання потужності пальника до досягнення значення температури на виході котла заданої установки задається у відеокадрі, «Регулятор температури» або максимально можливої температури нижче уставленої, якщо пальник вийшов в позицію «Велике горіння».

На етапі «Робочий режим» здійснюється підтримка заданої температури на виході котла і включається алгоритм каскадного управління.

Відключення котла здійснюється на етапі «Регульована зупинка». При виконанні регульованої зупинки виконуються наступні дії:

- Відключається регулятор температури і видається команда на переміщення заслінок газу і повітря в позицію «Мале горіння».

- Формується витримка часу 30 сек. для переміщення заслінок газу і повітря в позицію «Мале горіння».

- Після закінчення 30 сек. видається команда на відключення пальника закриття газових клапанів.

- Формується задана витримка часу для вентиляції топки. Протягом цього часу працює регулятор розрідження. Тиск повітря підтримується автоматом на протязі 12 секунд, а потім пальник відключається.

- Після закінчення вентиляції видається команда на закриття засувки пари.

При виконанні аварійної зупинки виконуються ті ж дії, що і при регульованій зупинці, але команда на відключення пальника видається без затримки часу і формується повідомлення «ЗАХИСНА ЗУПИНКА».

Зупинки котла по захисту «ЗАХИСНА ЗУПИНКА» подальша робота автоматики блокується. Для повторного запуску котла необхідно або перевести перемикач на шафі автоматики (ША) в положення «Стоп», а потім в положення «Пуск».

Виконанні команди «Дистанційна зупинка» відбувається зупинка котла. Для подальшого включення котла необхідно зняти команду «Дистанційна зупинка» з комп'ютера, або перевести перемикач на шафі автоматики в положення «Стоп», а потім в положення «Пуск».

Якщо температура пари збільшилася, збільшується опір термоперетворювача типу ТСПУ-Метран-276 (поз. 3), також збільшується тиск пари, який фіксується датчиком надлишкового тиску (поз. 2). Якщо тиск перевищує допустимий сигнал поступає на термостат безпеки з блокуванням типу С07А3М. Термостат безпеки автоматично відключає напругу живлення приладу. Перезапустити термостат можна лише вручну, але лише після того, як буде визначена причина спрацьовування пристрою.

Сигнал подається на регулятор РС29. В ньому формується сигнал, що управляє, відповідно до ПІ-закону регулювання. Цей сигнал посилюється підсилювачем і подається на виконавчий механізм (2Р4), який зменшує

подачу палива, змінюючи положення поворотно-регулюючої заслінки ПРЗ-150.

Контроль тиску пари необхідний для того, щоб визначити, чи є витрата пари через котел. При зменшенні витрати тиск знижується. Контроль тиску повітря після дуттьового вентилятора необхідний для визначення роботи вентилятора. Пониження тиску повітря відбувається в разі відключення вентилятора або закриття його направляючого апарату при несправності регулювальника повітря.

Зниження тиску газу нижче допустимого (поз. 14) призведе до згасання факела, тому тиск палива необхідно контролювати.

При підвищених розрідженнях в газоході буде великий присос зовнішнього повітря через всякого роду нещільності в обмурівці, це погіршить умови теплопередачі, знизиться продуктивність за рахунок підвищеної втрати з газами, що відходять. Тому необхідний контроль розрідження перед димососом.

Метан в суміші з повітрям створюють вибухонебезпечну газоповітряну суміш, що вибухає від джерела відкритого вогню. Вона діє на людину удушаючи і отруючи, тому необхідно контролювати вміст метану  $\text{CH}_4$  в приміщенні. При погасанні факела, топка котла і приміщення заповнюються газом, і може статися вибух. Для запобігання цього передбачений контроль по наявності полум'я в топці котла.

#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Основоположним законодавчим документом у галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці». Цей Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

На підприємстві ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний» розроблені і діють норми охорони праці для робочих сільськогосподарських підприємств через несприятливі фактори, які за певних умов роблять негативний вплив на організм працюючих, а при тривалішій дії можуть викликати зміни в стані здоров'я.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

Умови праці нерідко характеризуються дією на працюючих несприятливого мікроклімату, запиленої, загазованості, високої бактерійної і грибкової забрудненості повітря робочої зони, виробничого шуму.

Робота також пов'язана з фізичною напругою в результаті виконання об'єму робіт. У ряді випадків трудовий процес протікає в умовах низького освітлення.

Потенційно небезпечним для здоров'я працівників ПАТ «Крижопільський цукровий комбінат «Червоний» є пил виробничого середовища, неорганічного, органічного і біологічного характеру,

вірогідність розвитку захворювань, що підвищує, їх прогрес і несприятливий результат.

У зв'язку з рішенням переходу на альтернативне паливо, а саме біогаз, було прийнято рішення введення додаткових заходів охорони праці через важкі нещасні випадки, які бувають у біогазовій галузі, іноді навіть з летальним кінцем. Причина, безумовно, є більш часте використання обладнання, а також погане сприйняття, що робота здійснюється з вогненебезпечним та вибухонебезпечним газом.

Біогаз може призвести до смертельної задухи через нестачу кисню. Хоча біогаз легший за повітря, але схильний до відшарування. Отже, двоокис вуглецю буде внизу, при цьому легший газ підніметься на гору. Ефекти схожі на збирання вуглекислого газу.

Біогаз в суміші з повітрям може вибухнути, якщо його відсоток від загальної суміші складе 6-12%. Небезпека аварії приходить з обертових частин, установок електроприладів, від трубопроводів та резервуарів.

Спеціально для біогазу розвинули «Правила безпеки для сільськогосподарських біогазових установок».

Всі сільськогосподарські біогазові установки за умови правил безпеки і повинні дотримуватися своїх вимог.

Вимоги, закони та стандарти, що застосуються технічних засобів захисту біогазових установок:

- закон про безпеку при роботі з устаткування і виробництва;
- стандарти безпеки при роботі з вибуховими речовинами;
- європейські правила 94/9/ЕС;
- правила для профілактики аварії;
- техніка безпеки при роботі з технологією на роботі;
- закон про безпеку в роботі з технології і виробництва;
- правила безпеки підприємства;
- правила щодо роботи з біогазовими установками, правила запобігання нещасних випадків на робочому місці;



До цього додається вимога про охорону праці. Працедавець зобов'язаний надати документ з вибухових зон, з класифікацією рівня вибухопожежної небезпеки об'єкта:

Оскільки на цьому теплоенергетичному проектованому об'єкті використовуються теплоенергетичні установки, то на організм людини впливають ряд специфічних цій області несприятливих чинників, таких як:

- а. надмірний тиск;
- б. підвищений рівень пожаро- і вибухонебезпеці;
- в. підвищена температура.

#### 4.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва

##### 4.1.1 Надмірний тиск

У біогазовій установці, в котельній і на самому підприємстві є сосуди, працюючі під тиском. Для забезпечення безпечних умов експлуатації установки, котли і газопроводи забезпечені приладами для виміру тиску і температури.

На запірній арматурі вказаний напрям його обертання при відкриванні або закриванні. Газові трубопроводи мають на лінії, що підводить, зворотний клапан, що автоматично закривається тиском з сосуду.

Кожен сосуд забезпечений манометрами прямої дії. Манометр встановлений на штуцері сосуда або трубопроводі між сосудом і запірній арматурі.

Котли забезпечені запобіжними пристроями від підвищення тиску вище допустимого значення та показчиками рівня рідини. На кожному показчику рівня рідини відмічені допустимі верхній і нижній рівні.

#### 4.1.2 Підвищений рівень пожаро- і вибухонебезпеки

Оскільки котельне устаткування працює на біогазі, то існує загроза вибуху. Тому, проектування здійснене відповідно до Правил безпеки в газовому господарстві.

На газопроводах, що підводять, передбачені електромагнітні клапана, що блокуються з сигналізаторами загазованості. При заповненні газом газопроводи повинні продуватися через скидні свічки до витіснення усього повітря, а при звільненні від газу повинні продуватися повітрям до витіснення усього газу. Ці вимоги обумовлені тим, що при об'ємній концентрації природного газу в повітрі 5-15% утворюється вибухонебезпечна суміш. Із скидних свічок газ викидається в тих місцях, де він не може потрапити у будівлі і де унеможливлено його займання від якого-небудь джерела вогню. На газопроводах встановлюється тільки сталева арматура. На біогазовій установці встановлюються громовідводи, для унеможливлення удару блискавки.

#### 4.1.3 Підвищена температура

У котельній є поверхні, що мають високу температуру(водопроводи, паропроводи, поверхні котла, димарі). Усі ділянки елементів, доступні для обслуговуючого персоналу, покриті тепловою ізоляцією, що забезпечує температуру зовнішньої поверхні не більше 45 °С, при температурі довкілля не більше 25 °С. Персонал у свою чергу зобов'язаний перед прийомом зміни привести в порядок спецодяг. Рукави і полу спецодягу слід застебнути на усі гудзики, волосся прибрати під каску. Забороняється засукувати рукави спецодягу щоб уникнути отримання опіків.

#### 4.1.4 Підвищений рівень шуму на робочому місці

Для теплоенергетичного обладнання характерні механічні, аеродинамічні і гідродинамічні шуми - невпорядковане поширення звуків різної інтенсивності і чистоти, що роблять несприятливий вплив на організм людини. У котельні значний шум викликає аеродинамічні причини, до них ставитися:

- різкі перепади тиску в трубопроводі;
- робота запобіжних клапанів;
- пробивання прокладок фланцевих з'єднань;
- рух газів у трубах з великою швидкістю.

Підвищений рівень виробничого шуму на робочому місці – викликає шкідливий вплив на організм людини: знижується гострота слуху, зору, порушується діяльність серцево-судинної системи. Сильний виробничий шум може бути причиною функціональних змін нервової, кровоносної, а також травної систем організму людини.

Рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати 80 дБ.

#### 4.1.5 Вібрація на робочому місці

Являє собою механічний коливальний рух, найпростішим видом якого є гармонійне коливання.

На оператора котельні у виробничих умовах діє загальна вібрація 3А категорії (на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств).

Тривала дія вібрації призводить до різних порушень здоров'я людини і, в кінцевому рахунку, до «вібраційної хвороби». Загальна вібрація надає несприятливий вплив на нервову систему, настають зміни в серцево-судинній системі, вестибулярному апараті, порушується обмін речовин.

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

У практиці роботи з організацію праці важливою складовою є поліпшення умов праці. Важливе значення поліпшення умов праці пояснюється лише тим, що вони у основному є виробничу середу, у якій протікає життєдіяльність людини в час праці.

В Україні і в міжнародній організації зі стандартизації застосовується принцип нормування шуму на основі граничних спектрів (граничне допустимих рівнів звукового тиску) в октавних смугах частот.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ГОСТ 12.1.003-86. В ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності.

Боротьба з шумом в джерелі його виникнення. Це найбільш дієвий спосіб боротьби з шумом. Створюються мало шумні механічні передачі, розроблено способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторів.

Зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються звукопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню обладнання під час роботи, не ускладнювати його обслуговування, не псувати інтер'єр цеху. Різновидом цього методу є кабіна, в котрій розташовується найбільш шумний об'єкт і в котрій працює робітник. Кабіна зсередини вкрита звукопоглинальним матеріалом, щоб зменшити рівень шуму всередині кабіни, а не лише ізолювати джерело шуму від решти виробничого приміщення.

Зниження шуму звукоізоляцією. Суть цього методу полягає тому, що шумовипромінювальний об'єкт або декілька найбільш шумних об'єктів розташовуються окремо, ізолювано від основного, менш шумного приміщення звукоізолювальною стіною або перегородкою. Звукоізоляція

також досягається шляхом розташування найбільш шумного об'єкта в окремій кабіні. При цьому в ізольованому приміщенні в кабіні рівень шуму не зменшиться, але шум впливатиме на менше число людей. Звукоізоляція досягається також шляхом розташування оператора в спеціальній кабіні, звідки він спостерігає та керує технологічним процесом. Звукоізоляційний ефект забезпечується також встановленням екранів та ковпаків. Вони захищають робоче місце і людину від безпосереднього впливу прямого звуку, однак не знижують шум в приміщенні.

Захист від вібрації. За організаційними ознаками методи віброзахисту бувають колективні та індивідуальні. Колективні методи передбачають такі заходи:

- послаблення енергії вібрації в джерелі її виникнення;
- послаблення параметрів вібрації на шляху її розповсюдження від джерела збудження;
- організаційно-технічні;
- санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні.

Організаційно-технічні заходи передбачають:

- заміну операцій, що вимагають використання вібромашин дистанційним або автоматичним управлінням;
- своєчасні планово-попереджувальні ремонти;
- контроль за вібраційними параметрами ручних машин не рідше ніж 1 раз на 6 місяців;
- змащування та зрівноваження деталей машин, що рухаються.

Чинне місце в системі захисту працюючих займає:

- вібропоглинання;
- вібродемпфування;
- віброізоляція;
- віброгасіння.

Вібропоглинання та вібродемпфування віброуючих конструкцій здійснюється за рахунок збільшення втрат енергії в коливальних системах. В

якості вібродемпфування використовують матеріали, що мають велике внутрішнє тертя (магнітні сплави, пластмаси, мастики, пінопласти, гума, пластикати і ін.).

На конструкціях, що вібрують шар пружнов'язких матеріалів збільшує у коливальній системі внутрішнє тертя. Товщина покриття мастиками має перевищувати товщину вібруючих конструктивних деталей у 2-3 рази.

Віброізоляція – це єдиний засіб зменшення вібрації, що передається на руки від ручного механізованого інструмента. Для цього в коливальну систему вводиться пружний елемент, коефіцієнт пористості якого зменшується, коли збільшується сила натиску.

Пружні елементи віброізоляторів і амортизаторів можуть бути гумово-металевими, гумовими, пружинними, або прокладками з ребристої та дірчастої гуми і т. ін. Їх параметри визначаються розрахунками.

Для пружинного амортизатора найчастіше добирають пружини круглого перерізу. Вони є кращими за гумові. Їх проектують для ізоляції як низьких, так і високих частот. Вони довше зберігають пружні властивості, добре протистоять дії мастил і високих температур. Пружинні амортизатори використовують для віброізоляції насосів, електродвигунів і двигунів внутрішнього згорання.

Для зменшення вібрації, що передається на робочі місця використовують спеціальні амортизуючі сидіння з пасивною пружинною ізоляцією з гумовим або іншим віброгасним покриттям.

Кардинальним заходом віброгасіння загальної вібрації від потужних машин та агрегатів є розрахунок віброізоляційних систем та фундаментів.

Віброгасіння за принципом дії поділяється на ударне та динамічне. Динамічне віброгасіння досягається установкою агрегатів на самостійні фундаменти або масивні плити. Фундамент добирають відповідно до маси агрегату; його розраховують так, щоб амплітуда коливань підосви фундаменту не перевищувала 0,1 – 0,2мм, а для особливо відповідальних

випадків – 0,005мм. Щоб коливання не передавалося на ґрунт навколо фундаменту створюють розриви – так звані акустичні шви без заповнення або з заповнювачем.

Важливим профілактичним заходом є правильна організація режиму праці осіб вібронебезпечних професій. Сумарний час контакту з вібруючим обладнанням має не перевищувати 2/3 тривалості робочого дня, а тривалість безперервної дії вібрації не повинна перевищувати 15-20хв.

З лікувально-профілактичною метою рекомендується надавати дві регламентовані перерви для виробничої гімнастики й гідропроцедур.

Для роботи з вібруючими машинами й механізмами допускаються тільки ті працівники, які досягли 18 років, пройшли попередній медичний огляд, а в процесі роботи мають не рідше, ніж один раз на рік проходити періодичні огляди.

До засобів індивідуального вітрозахисту належать віброгасячі рукавиці та спеціальне взуття. Для захисту тіла використовують нагрудні пояси і спеціальні костюми з пружно-демпоруючих матеріалів.

#### 4.3 Виробнича санітарія

Підприємства повинні виконуватися відповідно до вимог проектування промислових підприємств. Виробничі території повинні забезпечуватися належними умовами природного освітлення, водопостачання, а також провітрюватись.

Карта умов праці робітників котельної представлена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1- Карта умов праці робітників ТЕЦ

Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Триалість дії чинників за зміну %
			I ступінь	II ступінь	III ступінь	
Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
NO <sub>2</sub>	5	4,7	-	-	-	100
CO	20	14	-	-	-	100
SO <sub>2</sub>	10	9	-	-	-	100
SO <sub>3</sub>	1	0,6	-	-	-	100
Температура повітря, °C	17-22	20-22	-	-	-	100
Відносна вологість повітря, %	≤75	65-70	-	-	-	100

Виробничі будинки повинні розташовуватися залежно від технологічного процесу і шкідливих виробничих факторів на цьому підприємстві.

Приміщення, у яких виробничі процеси пов'язані з виділенням шкідливих газів, пару, пилу та іншими негативними виробничими факторами, розташовуються стосовно інших будинків і населених пунктів з підвітряної сторони для вітрів переважного напрямку, територія повинна бути упоряджена.

Територія підприємств повинна бути обладнана водопроводом і каналізацією, мати асфальтовані чи інші тверді покриття проїздів і проходів, знаки безпеки руху.



Виробничі приміщення проектуються і будуються за умови, що на одного робітника повинно бути не менше  $15 \text{ м}^3$  об'єму приміщення або  $4,5 \text{ м}^2$  площі при мінімальній висоті 3,2 м.

Стіни і стелі повинні бути мало теплопровідними, не затримувати пил, підлоги - теплими, еластичними, рівними і не слизькими.

Оздоровчі пункти для надання першої допомоги потерпілим на виробництві і хворим, а також для проведення лікувальної і санітарно-профілактичної роботи.

Коли потрібні допоміжні приміщення, то вони повинні розташовуватись в прибудовах виробничих будинків чи в окремих будинках, з'єднаних з виробничими опалюваними переходами.

#### 4.3.1 Вентиляція та опалення

Метеорологічні умови в робочій зоні виробничих приміщень з категорією роботи Пб (До категорії Пб належать роботи, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів та супроводжуються помірним фізичним напруженням.) приймаються наступні [5] і занесені до таблиці 4.2

Видалення повітря передбачається через дефлектори, розташовані в перекритті котельні. Приплив повітря здійснюється в нижню зону приміщення через віконні отвори. У зимовий час повітрообмін здійснюється за допомогою дуттьових вентиляторів, які відбирають повітря з котельні повітрозабірними пристроями, розташованими під перекриттям.

Для систем опалення слід застосовувати у якості теплоносія, як правило, воду.

Для опалення котельної у нашому випадку є:

- у кімнаті машиніста та оператора чавунна батарея на 6 секцій;
- у кімнаті слюсарей 3 чавунні батареї по 8 секцій кожна;
- у кімнаті майстра чавунна батарея на 7 секцій.

Інша частина приміщення не опалюється тому що температура не знижується менше ніж 13-15°C.

Таблиця 4.2 - Допустимі метеорологічні умови

Чинники	Для періодів		Для теплого періоду
	холодного	перехідного	
Допустима температура, °C	+17	+19	+20 – +22
Відносна вологість повітря, %	≤75		≤75
Швидкість руху повітря, м/с	0,4		0,2
Температура повітря поза постійних робочих місць, °C	+13	+26	-

#### 4.3.2 Температурні умови виробничих приміщень

Метерологічні умови виробничих приміщень визначаються сукупністю параметрів-температури ( $t$ , °C), відносної вологості ( $\varphi$  %), швидкості руху повітря ( $V$ , м/с), атмосферного тиску ( $P$ , мм.рт.ст.), інтенсивності теплового випромінювання ( $E$ , Вт/м<sup>2</sup>). Сукупність цих величин, характерних для конкретних виробничих умов, називається мікрокліматом.

Заходи й засоби захисту працюючих при недопустимих параметрах мікроклімату поділяються на організаційні заходи та колективні та індивідуальні засоби.

До організаційних заходів відносяться автоматизація, дистанційне керування технологічними процесами, кімнати реабілітації, чергування часу роботи й відпочинку.

Як технічні колективні засоби захисту застосовують екрани, засновані на принципах відбиття, поглинання, тепловідведення, повітряні, водяні душі завіси. До індивідуальних засобів захисту відносяться спецодяг.

#### 4.3.3 Освітлення робочого міста

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення.

Швидкість зорового сприйняття підвищується зі збільшенням висвітлення. Вона швидко зростає при висвітленні в 70 – 75 лк. Повільніше – при висвітленні в 1000 – 1200 лк. і більше. Чітке сприйняття предмета очей зберігає певний час.

Стійкість ясного бачення залежить від характеру виконуваної роботи, умов виробничої середовища, зокрема, від тривалості висвітлення (з поліпшенням висвітлення різко підвищується тривалість ясного бачення).

Існуючі норми штучного висвітлення виробничих приміщень передбачають різний рівень висвітлення для різної точності робіт.

Норми встановлюють найменші допустимі значення освітленості, при яких забезпечується успішне виконання різної характером і складності зорової роботи. Висвітлення виробничих приміщень лише штучним світлом припустиме лише як виняток. Необхідно враховувати, що природне світло стимулює життєдіяльність організму людини. Він створить відчуття безпосередній зв'язок із зовнішнього середовищем, дозволяє забезпечити рівномірний висвітлення приміщень.

Створення сприятливих умов праці, його подальше полегшення сприяють, з одного боку, збереженню здоров'я працівників, вдосконаленню їх трудових навичок, а, з іншого - підвищенню працездатності і

продуктивності праці, зниження плинності кадрів і поліпшення дисципліни на виробництві.

#### 4.4 Електробезпека

На котельній використовується однофазна мережа для живлення зовнішнього та внутрішнього освітлення з напругою  $\sim 220\text{В}$ , а також трьохфазна  $\sim 380\text{В}$  для живлення агрегатів.

При технічній експлуатації електроустаткування промислових підприємств електротравми можуть виникати з таких причин:

- дотик безпосередній до струмопровідних частин електроустановок, які діють під напругою. Це може статися через несправність огорожувальних пристроїв електроустановок, помилкові дії персоналу, коли роботи виконуються поблизу чи безпосередньо на струмопровідних елементах, що знаходяться під напругою, а також з появою напруги (в результаті помилкової подачі) на раніше вимкнених електроустановках і ділянках мережі;

- важкі і смертельні нещасні випадки (понад 200), проаналізовані показали, що на випадковий дотик, не викликаний виробничою необхідністю і помилковою подачею напруги, в процесі ремонтів і оглядів електроустановок, припадає близько 53 % усіх електротравм;

- дотик до металевих конструктивних частин електроустановок, які не повинні знаходитися під напругою, але на корпусах, кожухах і огорожувальних пристроях може з'явитися напруга в результаті електричного пробою чи природного старіння ізоляції електроустановок, а також при замиканні оголених проводів через обрив і падіння на конструктивні частини електроустановок і при відсутності захисного заземлення, ці причини складають близько 22 % усіх травм;

- дотик інструментом і предметами, що мають малий опір, до ізоляції, до струмопровідних частин, а також до неметалевих частин

електроустановок, які виявилися під напругою через заводські дефекти в конструкції, під час монтажу і виготовлення.

- дотик до стін, підлог, будівельних конструкцій, які виявилися під кроковою напругою. Крокова напруга виникає при розтіканні електричного струму від трубопроводів, будівельних конструкцій, рейкових шляхів, на які перейшов електричний струм в результаті падіння проводів чи погіршення ізоляції. Такі причини складають 2-3 %;

- дія дуги при операціях із відмикальними пристроями та інші причини. Вони складають близько 6 %.

Перегляд електротравм, показав, що електротравми через помилкову подачу напруги на електроустановки під час їх ремонтів і оглядів зумовлюються незадовільною організацією ремонтних робіт, недостатнім знанням працівниками правил з техніки безпеки.

Дуже великий відсоток електротравм при випадковому дотику, не викликаному виробничою необхідністю (до 30 %), і невеликий - при дотику в процесі роботи (до 2%) дозволяє зробити висновок, що працівники, не пов'язані з експлуатацією електроустановок, не знають, яку небезпеку становить електричний струм для людини.

Ураження електричним струмом відносяться до небезпечних факторів, що відображаються на всьому організмі. Проте всі електротравми умовно поділяють на два основних види: місцеві електротравми, коли виникає місцеве ураження організму, електричний опік, електричні знаки, металізація шкіри; загальні електротравми, коли уражається весь організм людини через порушення нервової системи, нормальної діяльності життєво важливих органів і систем - електричний удар.

Сила електричного струму, що протікає через людину, є основним чинником, що визначає результат ураження електричним струмом. Значення напруги, під якою опинилася людина, і опір її тіла впливають на результат ураження людини лише в тій мірі, в якій напруга та опір людини визначають значення електричного струму, що протікає через людину.

Якщо збільшується сила електричного струму, небезпека ураження людини теж збільшується. Розрізняють кілька станів людини, що виникають при визначених значеннях струму.

Відчутний струм - електричний струм силою від 0,6 до 1,5 мА, що викликає під час проходження через організм відчутне подразнення.

Струм, що не відпускає - електричний струм, що викликає при проходженні через людину непереборні судорожні скорочення м'язів руки, в якій затиснута струмопровідна частина. При струмі 3-5 мА (50 Гц) подразнюється вся кисть руки, яка торкається струмопровідних частин, при 8-10 мА біль охоплює всю руку, а при 15 мА судороги м'язів рук стають непереборними, а біль нестерпним. Людина при цьому не може розтиснути руку, в якій затиснута струмопровідна частина.

#### 4.5 Протипожежна безпека

Відповідно до основних правил пожежної безпеки, на підприємстві розроблені інструкції по заходах пожежної безпеки, в яких вказані для окремих ділянок виробництва заходу по протипожежному режиму, граничні показання контрольно-вимірювальних приладів, порядок і норми зберігання вибухо- і пожежонебезпечних речовин.

Приміщення котельної відноситься до категорії Г - пожежобезпечне, так як у виробництві використовується газоподібні речовини. По кожній інструкції призначена відповідальна особа їх числа інженерно-технічних працівників.

Для гасіння пожеж на підприємстві існує пожежна охорона, усі виробничі цехи і приміщення обладнані пожежною сигналізацією. Основними первинними засобами пожежогасінні є:

- вогнегасники хімічні пінні ОХП- 10;
- вогнегасники пінні ОВП- 10;
- вогнегасники вуглекислотні ОУ- 2, ОУ- 5, ОУ- 8, ОУ- 20;

- вогнегасники порошкові ОПС- 6, ОПС- 10;
- ящики з піском;
- пожежні щити з інвентарем;
- пожежні водопроводи.

В цілях попередження пожеж і створення безпечних умов праці на підприємстві проведені наступні заходи:

- встановлені достатні розриви між будівлями, спорудами, складами, забороняється зберігання горючих матеріалів в розривах між будівлями;
- забезпечені умови для організації евакуації з приміщень у разі виникнення пожежі;
- впроваджена у виробництво системи автоматичного контролю і сигналізації за виникненням небезпечних чинників.

#### 4.6 Засоби індивідуального захисту

Робочі комбінезони і халати, головні убори і чисте взуття повинні видаватися як персоналу, так і усім відвідувачам, що входять на територію господарства або інкубатора.

Для дезінфекції взуття має бути ножна ванна; використовуваний в ній дезінфікуючий розчин регулярно міняють. Обов'язковим повинно бути вимоги миття рук дезінфікуючим розчином або водою з милом.

Персонал і відвідувачі не повинні мати контакту – як прямій, так і непрямій - з іншим птахом або птахопродуктами.

Комплект ЗІЗ - спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри, респіратори повинні бути підібрані індивідуально та закріплені за кожним працюючим на весь період роботи. Засоби індивідуального захисту повинні зберігатися в індивідуальних шафах у спеціально виділеному сухому, чистому приміщенні, яке добре провітрюється. Забороняється зберігати ЗІЗ, відносити додому і користуватися ними після роботи.

#### 4.7 Розрахунок небезпеки поразки персоналу електричним струмом

При розрахунку струмів поразки  $I_h$  необхідно знати опір в ланцюзі людини  $R_h$ , яке визначається формулою

$$R_h = R_{тіла} + R_{взуття} + R_{нідстав} ,$$

де  $R_{тіла}$  - опір тіла людини, при напрузі дотику  $U_{пр}$  50В приймається рівним 1 кОм;

$R_{нідстави}$  - опір основи(пола) відповідно до матеріалу і вологості складає 1,5 кОм;

$R_{взуття}$  - опір взуття, залежить від матеріалу підошви, вологості і прикладеної напруги. Відповідно до цих даних складає 0,7 кОм.

Таким чином:

$$R_h = 1 + 1,5 + 0,7 = 3,2(\text{кОм})$$

Робимо розрахунок струму поразки в 3-х фазному ланцюгу з глухозаземленою нейтраллю в нормальному режимі роботи системи. Струм поразки  $I_h$  проходить через тіло людини при його дотику до фазного дроту визначається по формулі

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + r_0} ,$$

де  $r_0 = 4$  Ом - опір заземлення нейтралі;

$U_{пр} = U_{\phi} = 220$ В - напруга дотику(рівно фазній напрузі);

Оскільки  $r_0 \ll R_h$ , то формула набуває наступного вигляду:



$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h} = \frac{220}{3,2 \cdot 10^3} = 0,069 A = 69 \text{ mA} .$$

Гранично допустимі значення  $U_{np}$  і  $I_h$  при нормальному режимі роботи електроустановки наступні:  $U_{np} = 2 \text{ В}$ ,  $I_h = 0,3 \text{ мА}$ . Порівнюючи розраховані значення і табличні, приходимо до висновку, що розраховані значення представляють велику небезпеку для людини. Отже, необхідно забезпечити захист робочого персоналу від поразки електрострумом при нормальному режимі роботи електроустановки.

Розрахуємо струм поразки  $I_h$ , що проходить через людину при дотику до фазного дроту при аварійному режимі роботи проектованої системи, по наступній формулі

$$I_h = U_{\phi} \cdot \frac{r_{зам} + \sqrt{3 \cdot r_0}}{r_{зам} \cdot r_0 + R_h (r_{зам} + r_0)} ,$$

де  $r_{зам} = 30 \text{ Ом}$  - опір замикання на землю.

Після підстановки кінцевих значень отримаємо наступне значення

$$I_h = 220 \cdot \frac{30 + \sqrt{3 \cdot 4}}{30 \cdot 4 + 3,2 \cdot 10^3 \cdot (30 + 4)} = 0,068 A = 68 \text{ mA} .$$

Звідси знайдемо напругу дотику по формулі

$$U_{np} = I_h \cdot R_h = 0,068 \cdot 3,2 \cdot 10^3 = 217,6 \text{ В} .$$

Значення гранично допустимих значень  $U_{np}$  і  $I_h$  при аварійних

режимах роботи електроустановки приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Значення гранично допустимих значень  $U_{пр}$  і  $I_h$  при аварійних режимах роботи електроустановки

Рід і частота струму	Величина	Тривалості дії, с									
		0,01 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	більше 1,0
Змінний 50Гц	$U_{пр}$ , В	650	500	250	165	125	100	85	65	50	42
	$I_h$ , мА	650	500	250	165	125	100	85	65	50	6

Порівнюючи отримані і табличні значення, бачимо, що струм в 4 мА може впливати на людину не більше 0,5 сек. Проте слід враховувати, що вже струм в 15 мА є таким, що не відпускає, тобто дія великих струмів буде тривалішою. Значить, розрахований струм небезпечний для обслуговуючого персоналу, і для захисту людини від дії електроструму при дотику до струмоведущих частин в аварійному режимі роботи необхідно забезпечити захист від поразки електрострумом.

Основні заходи захисту від поразки електричним струмом :

- застосування належної ізоляції, а в окремих випадках - підвищеної;
- використання подвійної ізоляції (робочої і додаткової);
- дотримання відповідних відстаней до струмоведущих частин або шляхом закриття, обгороджування струмоведущих частин;
- застосування блокування апаратів і пристроїв, що захищають, для відвертання помилкових операцій і доступу до токоведущих частин;
- надійне і швидкодіюче автоматичне відключення частин електроустановки, що випадково виявилися під напругою, і пошкоджених ділянок мережі, у тому числі захисного відключення;
- заземлення або занулення корпусів електроустановки і елементів електроустановок, які можуть виявитися під напругою внаслідок

ушкодження ізоляції;

- вирівнювання потенціалів;
- застосування розділових трансформаторів;
- застосування застережливої сигналізації, написів і плакатів;
- застосування пристроїв, що знижують напруженість електричних

полів;

- використання засобів захисту і пристосувань, у тому числі для захисту від дії електричного поля в електроустановках, в яких його напруженість перевищує допустимі норми.

З усіх перелічених способів найефективнішим є заземлення або занулення. Згідно з вимогами, електроустановки, що живляться від трифазних чотирипровідних мереж з глухозаземленою нейтраллю, підлягають зануленню. Значить, в якості засобу захисту від поразки електричним струмом виберемо занулення.

## ВИСНОВОК

У даній дипломній роботі на тему «Дослідження можливості використання біогазової установки для опалення промислового комплексу» було виконано розрахунки теплової схеми ТЕЦ цукрового комбіната за умови заміни палива з природного газу на альтернативне - біопаливо.

Реконструкція джерела тепlopостачання – ТЕЦ підприємства, при умові незмінності принципової теплової схеми, передбачає комплексну розробку та вибір основного та допоміжного обладнання. В роботі розглянуто два варіанти експлуатації біогазового заводу:

- біогаз вироблятиметься тільки в період роботи цукрового заводу, тобто тільки тоді, коли є жом;

- експлуатація біогазового заводу цілий рік. Така схема може бути реалізована при заготівлі жому силосування. Біогаз буде спалюватися в когенераційних установках, виробляючи електричну та теплову енергію. Частина електроенергії буде використовуватися на потреби заводу і біогазової установки, а інша частина буде продаватися. Частина теплової енергії буде використовуватися для підтримки оптимальної температури в реакторах, інша частина буде використовуватися для ГВП району міста.

Проведений розрахунок підтвердив, що саме другий варіант дозволить зробити роботу джерела тепlopостачання економічно доцільною.

У розділі «КВП та автоматизація» вирішено питання розробки схеми автоматизації котла, підбрано необхідні контрольно-вимірювальні прилади.

Реалізація даного проекту допоможе вирішити проблему утилізації жому на цукровому заводі. У найближчі роки підприємство може зіткнутися з тим, що нікуди буде його вивозити. Жом в свою чергу, при гнитті в ямах забруднює землю, атмосферу (виділяється  $\text{CH}_4$ ), і підземні води.

Бонусом даного проекту є можливість підключення частини селища до гарячого водопостачання.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов, Н.В. Тепловий розрахунок котельних агрегатів: Нормативний метод [Текст] / Н.В. Кузнецов. – М.: Енергія, 1973. – 296 с.
2. Безгрешнов, А. Н. Розрахунок парових котлів у прикладах і задачах. Уч. посібник для вузів [Текст] / А.Н. Безгрешнов, Ю.М. Липів, Б.М. Шлейфер. – М.: Вища школа, 1991. – 240 с.
3. Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных установок. Нормативный метод [Текст] / Н.В. Кузнецов. - М: Энергия, 1973. – 324 с.
4. Мочан, С.И. Аэродинамический расчет котельных установок [Текст] / С.И. Мочан. - Л: Энергия, 1977. – 255 с.
5. Липов, Ю.М. Компоновка и тепловой расчет парогенератора [Текст] / Ю.М. Липов. – М: Энергия, 1975. – 266 с.
6. Частухин, В.И. Тепловой расчет промышленных парогенераторов [Текст] / В.И. Частухин.– К: Вища школа, 1980. – 184 с.
7. Макаров, В.Н. Методика поверочного теплового расчета парогенератора [Текст] / В.Н. Макаров.– М: МЭИ, 1976. – 52 с.
8. Балдіна, О.М. Гідравлічний розрахунок котельних агрегатів: Нормативний метод [Текст] / О.М. Балдіна, В.А. Локшина, Д.Ф. Петерсон. – М.: Енергія, 1978. – 256 с.
9. Бобровський, Р.С. Котельні установки малої потужності [Текст] / Р.С. Бобровський. – М.: Машгіз, 1961. – 331 с.
10. Нечаєв, Р.К. Автоматика і автоматизація виробничих процесів [Текст] / Р.К. Нечаєв. – К.: Вища школа, 1985. – 279 с.
11. Староверов, К.В. Справочник проектировщика [Текст] / К.В. Староверов. - М.: Стройиздат, 1976. – 120 с.
12. Николаев, А.А. Справочник проектировщика. Проектирование топок и печей [Текст] / А.А. Николаев. - М.: Стройиздат, 1965. – 236 с.

13. Файерштейн, Л.М. Довідник з автоматизації котелень [Текст] / Л.М. Файерштейн, Л.С. Этинген, Р.Р. Гохбойн. – М.: Вища школа, 1985. – 296 с.
14. Бузников, Е.Ф. Виробничі та опалювальні котельні [Текст] / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис. – М.: Вища школа, 1984. – 248 с.
15. Староверов, К.В. Справочник проектировщика [Текст] / К.В. Староверов. - М.: Стройиздат, 1976. – 120 с.
16. Николаев, А.А. Справочник проектировщика. Проектирование топок и печей [Текст] / А.А. Николаев. - М.: Стройиздат, 1965. – 236 с.
17. Денисенко, Р.Ф. Охорона праці: Уч. посібник для інж.- екон. спец. Вузів [Текст] / Р.Ф. Денисенко. – М.: Вища школа, 1985. – 248 с.
18. Гаджієв, Р.В. Охорона праці в тепловому господарстві промислових підприємств: Уч. посібник для технікумів [Текст] / Р.В. Гаджієв, А.А. Вороніна. – М.: Енергія, 1980. – 224 с.
19. Оніщенко, Н.С. Охорона праці при експлуатації котельних установок [Текст] / Н.С. Оніщенко. – М.: Енергія, 1992. – 350 с.
20. ДНАОП 0.00-1-08.-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів [Текст] – К: Стройиздат, 1995 – 12 с.
21. Прузнер, С.С. Правила пристрої і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском [Текст] / С.С. Прузнер. – М.: Металургія, 1971. – 45 с.
22. Нормативи чисельності робітників, що обслуговують парокотельные установки промислових підприємств [Текст] – М: Економіка, 1988 – 26 с.
23. Златопольський, Е.В. Економіка, організація і планування теплового господарства промислових підприємств: Підручник для технікумів [Текст] / Е. В. Златопольський. – М.: Енергія, 1979. – 376 с.
24. Plechec, L. Tepelny vupocet plynuteho vinuti transformatoru s prirodzenym obehem obeje [Text] / L. Plechec // Electrotechnic obz. — 1972— №1— P.5-10.

25. Petras, V. Teplotne pole olejoveha transformatora so zvitkovym vinutim [Text] / V. Petras, L. Kriho, T. Fiedler // Transformatory.- 1984.- №2.- P. 7-13.
26. Guerra, F. Primeira abordagem a utilização de modelos reduzidos para a determinação experimental do campo termico de transformadores arrefecidos por conveção natural [Text] / Franklin Guerra, Isaac Moreira // Electricidade.- 1987.- № 233.- P. 141-145.
27. Pivnek, M. Vyzkum tepelnych zavislosti na modelech vinuti transformatoru [Text] / M. Pivnek, K. Havlichek // Electrotechn. obz. — 1974. — №4. — pp. 175-181.
28. Die Darstellung des Wärmeüberganskoeffizienten im transformator mit Kriteriellen Potenzfunktion [Text] / H. Lobenstein // Elektr. — 1979. — №4. — pp. 218-220.
29. Вукалович, М.П. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / М.П. Вукалович. - М.: Машиностроение, 1967. - 160 с.
30. Дубковский, В.А. Рациональные процессы, циклы и схемы энергоустановок [Текст] / В.А. Дубковский.- Одесса: Наука и техника, 2003. - 224 с.
31. Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
32. Макаров, Г.В. Охрана труда в химической промышленности [Текст] / Г.В. Макаров. – М.: Химия, 1977. –568 с.
33. Сафонов, Н.А. Спецодежда и спецобувь [Текст] / Н.А. Сафонов. – М.: Химия, 1976. – 152 с.
34. Анисимов, А.С. Предупреждение и тушение пожаров на промышленных предприятиях [Текст] / А.С. Анисимов. – К.: Техника, 1978. – 164 с.
35. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция [Текст] / В.Н. Богословский. – М. 1980. – 290 С.

36. Линецкой, В.А. Охрана труда и техника безопасности и пожарная профилактика на предприятиях химической промышленности [Текст] / В.А. Линецкой.– М.: Химия, 1976. – 440 с.

37. Кораблев, В.П. Электробезопасность на предприятиях химической промышленности [Текст] / В.П.Кораблев.– М.: Химия, 1977. – 232 с.

38. Кукин, П.П. Безопасность технологических процессов и производств [Текст] / П.П. Кукин.– М.: Высшая школа, 2007. – 335 с.

39. Зотов, Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве [Текст] / Б.И. Зотов. - М.: Колосс, 2003.- 432с.