

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Проектування водонагрівача проточного електричного
молокоприймального відділення ферми»

КРБ.133ГМбд_21[1].11.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 *«Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти бакалавр
групи *133ГМбд_31[2]*
СОЛДАТОВ Сергій
Керівник: доктор техн. наук, професор
СКРИПНИК Вячеслав

Полтава – 2024 року

ВСТУП

Актуальність теми. У виробництві молока і молокопродуктів першим етапом є отримання молока від корів на молочнотоварних фермах. Забезпечення мікробіальної чистоти молокопроводів і обладнання для доїння корів потребує великої кількості гарячої води на таких фермах для миття і видалення мікроорганізмів. Молочнотоварні ферми розташовуються на певній відстані від поселень з централізованим гарячим водопостачанням і потребують оснащення автономними водонагрівачами і водогрійними пристроями. Водонагрівачі мають просту будову, а їх термін безаварійної експлуатації залежить від надійності та якості, в першу чергу, пристроїв для перетворення енергоносія (електроенергії, газу, твердого палива і т.п.) в теплову енергію. Крім того, зменшення нетехнологічних втрат теплоти в роботі водонагрівачів дозволяє зменшити витрати енергоносія, що в умовах енергетичної кризи в Україні є актуальною задачею.

Мета дослідження: Спроекувати водонагрівач проточний електричний молокоприймального відділення ферми продуктивністю до 400 л/год.

Завдання дослідження:

- провести аналіз існуючого електричного водогрійного обладнання;
- на основі аналізу обґрунтувати конструктивну схему водонагрівача, матеріали деталей для його виготовлення;
- провести конструктивні і тепловий розрахунки водонагрівача та теплогенеруючих пристроїв під задану продуктивність;
- розробити комплекс заходів з охорони навколишнього середовища та забезпечення вимог охорони праці під час виробництва;
- оцінити економічну ефективність впровадження проєктованого водонагрівача.

Об'єкти дослідження: процес виробництва гарячої води.

Предмет дослідження: технологічне обладнання для отримання гарячої води.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ГАРЯЧОЇ ВОДИ (Аналітичний розділ)

1.1 Призначення і класифікація водогрійного обладнання

Водогрійне обладнання призначене для нагрівання і кип'ятіння води, яка застосовується для різних потреб у різних галузях промисловості.

Кип'яток (гаряча вода з температурою 95...100 °С) використовується для різних технологічних цілей в харчовій і переробній промисловостях (для ошпарювання туш свиней, птиці, шерстних субпродуктів, пом'якшення зовнішнього шару овочів і фруктів, стерилізації обладнання та ін.). Використання кип'ятку, нагрітого у спеціалізованому обладнанні, дозволяє зменшити нетехнологічні втрати енергоносія, зменшити втрати поживних речовин в процесах нагрівання харчової сировини. Теплові апарати, призначені для кип'ятіння води, називаються кип'ятильниками.

Гаряча вода з температурою 70...90 °С використовується для санітарно-технічних (миття, бланшування овочів, фруктів, миття технологічного обладнання, інвентарю і т.п.) та санітарно-гігієнічних цілей. Теплові апарати, призначені для нагрівання води до температури не вище 90 °С, називаються водонагрівачами. Теплові апарати, в яких отримують гарячу воду у якості побічного продукту для зменшення нетехнологічних втрат енергоносія, називаються водогрійними пристроями.

Водогрійне обладнання класифікується за наступними ознаками:

- за технологічним призначенням;
- за принципом дії;
- за використаним енергоносієм.

За технологічним призначенням водогрійне обладнання поділяється на кип'ятильники, водонагрівачі і водогрійні пристрої.

За принципом дії водогрійне обладнання поділяється на апарати безперервної та періодичної дії [1, 2].

За використаним енергоносієм водогрійне обладнання поділяється на

електричне, газове і твердопаливне.

В зв'язку з тим, що темою кваліфікаційної роботи є проектування електричного проточного водонагрівача молочнотоварної ферми, в подальшому кип'ятильники і водогрійні пристрої, а також газові і твердопаливні водонагрівачі, аналізуватися не будуть.

1.2 Будова, принцип дії та технічні характеристики водонагрівачів періодичної дії

Водонагрівачі електричні періодичної дії для отримання гарячої води з температурою до 90 °С називаються накопичувальними, або бойлерами.

Вітчизняна і іноземна промисловість випускає широкий асортимент накопичувальних водонагрівачів (бойлерів) різної ємності та потужності, які між собою мають лише незначні відмінності у конструктивних схемах.

Розглянемо деякі з них.

Електроводонагрівачі побутові ЕВАД Atlantic (Україна, ТОВ «Укратлантік») випускаються з об'ємом водогрійного резервуара (бака) від 10 до 120 л та потужністю від 1200 до 2100 Вт [3].

Конструктивні схеми водонагрівачів ЕВАД Atlantic наведені на рис. 1.

Рис. 1 – Принципові схеми водонагрівачів ЕВАД Atlantic:

1 - внутрішній бак (водогрійний резервуар) з емалевим покриттям; 2 – трубка ТЕНа; 3 – магнієвий анод; 4 – нагрівальний елемент (ТЕН); 5 – шар пінополіуретану

В склад ЕВАД входить два сталевих баки (рис 1): внутрішній (водогрійний резервуар) і зовнішній. В простір поміж ними задувається пінополіуретан у якості

теплової ізоляції з низьким коефіцієнтом теплопровідності ($\lambda_{із} = 0,038 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$), завдяки чому ЕВАД надаються властивості термоса. У якості захисту внутрішньої поверхні водогрійного резервуара від корозії використовується покриття з скло-емалі. Блок нагрівання моделей складається з ТЕНа (мідного трубчатого нагрівального елемента в моделях E-Series, O'Pro, EGO, O'Pro+, O'ProP, ЕХРЕРТ та TURBO або керамічного модель Steatite), терморегулятора (штирового типу в моделях E-Series, O'Pro, EGO, O'ProP та O'Pro+ або капілярного - модель Steatite, ЕХРЕРТ, TURBO та O'Pro Square), перемикача потужності (повна – кнопка натиснута, пів потужності - кнопка віджата) на моделях Steatite Square універсальні та магнієвого анода.

За допомогою терморегулятора регулюється температура нагрівання води шляхом автоматичного вмикання та вимикання ТЕНа. Терморегулятор складається з чутливого елемента та блока автоматики, який регулює температуру нагрівання води, автоматично підтримує задану температуру і захищає від початку кипіння.

Температура нагрівання води задається вручну повертанням регулятора. Для збільшення температури нагрівання ручка регулятора повертається проти годинникової стрілки, для зменшення температури нагрівання ручка регулятора повертається за годинниковою стрілкою (на моделях Vieaіііііі, ЕХРЕРТ та TOPBO - навпаки).

Індикатор нагрівання показує (червоний світлодіод) умовну температуру води всередині водогрійного резервуара. Градування індикатора умовне і для точного виміру температури води у водогрійному резервуарі не призначене.

Магнієвий анод (рис.1) забезпечує додатковий захист внутрішнього бака від корозії, а також, в значній мірі, запобігає виникненню накипу на ТЕНі. Взаємодія катіонів магнію з солями жорсткості, що розчинені у воді, призводить до утворення пухкого накипу, який осідає на дно і легко усувається під час чищення водогрійного резервуара.

Запобіжний клапан складається із зворотного і стравлюючого клапанів. Зворотний клапан запобігає витіканню води з водогрійного резервуара у водопровід, що підводиться, за відсутності холодної води. Під час нагрівання відбувається

розширення води, що за відсутності розбору гарячої води може призвести до збільшення тиску у водогрійному резервуарі. За перевищення тиску води в водогрійному резервуарі понад 0,8 МПа стравлюючий клапан спрацьовує, внаслідок чого через нього можливе витікання невеликої кількості води для зменшення тиску у водогрійному резервуарі.

Технічні характеристики водонагрівачів ЕВАД наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Технічні характеристики водонагрівачів ЕВАД

Модель	Об'єм, л	Потужність, Вт	Час нагрівання (хв) від +15°C до +65°C	Габаритні розміри,		Маса кг
				Висота /Довжина	Діаметр	
1	2	3	4	5	6	7
E-Series вертикальні						
VM 30 N4E	30	1200	90	417	433	13
VM 50 NE	50	1500	120	573	433	16,5
VM 80 N4E	80	1500	194	809	433	21,5
VM 100 NE	100	1500	242	968	433	25,0
VM 50 N4L	50	1500	120	573	433	17
VM 80 N4L	80	1500	194	809	433	17,5
VM 100 N4L	100	1500	242	968	433	21
O'Pго вертикальні						
VM 50 N4	50	2000	90	573	433	16,5
VM 80 N4	80	2000	146	809	433	21,5
VM 100 N4	100	2000	182	968	433	25
VM 150	150	2200	240	1235	505	40
VM 200	200	2200	350	1568	505	50
O'Pго горизонтальні						
HM 50 N4	50	1500	100	552	433	17
HM 80 N4	80	1500	165	786	433	22
HM 100 N4	100	1500	220	944	433	25,5

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Steatite вертикальні						
VM 50 N40C (E)	50	1500	100	573	433	17

VM 80 N40C (E)	80	1500	181	809	433	22
VM 100 N40C (E)	100	1500	246	968	433	25,5
EGO вертикальні						
VM 030 D400-1-M	30	1200	90	431	433	13
VM 050 D400-1-M	50	1500	120	582	433	17
VM 080 D400-1-M	80	1500	194	811	433	22
VM 100 D400-1-M	100	1500	242	970	433	25,5
VM 120 D400-1-M	120	1500	287	1127	433	29
O'ProP вертикальні						
VM 030 D400-1-M	30	1200	90	431	433	13
VM 050 D400-1-M	50	1500	120	582	433	17
VM 080 D400-1-M	80	1500	194	811	433	22
VM 100 D400-1-M	100	1500	242	970	433	25,5
VM 050 D400-1-M	50	2000	90	582	433	17
VM 080 D400-1-M	80	2000	146	811	433	22
VM 100 D400-1-M	100	2000	182	970	433	25,5
VM 120 D400-1-M	120	2000	215	1127	433	29
O'Pro+ горизонтальні						
HM 050 D400-1-M	50	1500	100	552	433	17
HM 080 D400-1-M	80	1500	165	786	433	22
HM 100 D400-1-M	100	1500	220	944	433	25,5
STEATITE вертикальні						
VM 050 D400-2-	50	1500	100	582	433	17
VM 080 D400-2-	80	1500	165	811	433	22
VM 100 D400-2-	100	1500	220	970	433	25,5
Steatite універсальні (вертикальні/горизонтальні)						
VM 30 N3 CM(E)	30	1500	вертикальні: 75;	579	380	14,5
VM 50 N3 CM(E)	50	2100	вертикальні: 82;	792	380	18,5

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
VM80M3 CM(E)	80	2100	вертикальні: 132;	1142	380	24,5

VM030 0325-2-BC	30	1500	вертикальні: 76;	597	380	14,5
VM050 0325-2-BC	50	2100	вертикальні: 84;	850	380	20
VM050 0325-2-BC	80	2100	вертикальні: 135;	1184	380	26
O'Pго Slim вертикальні						
PC 10 RB	10	1600	24	456	255	7,5
PC10 SB	10	2000	19	456	255	7,5
PC 15 R	15	2000	26	496	287	9,5
PC 15 S	15	2000	26	496	287	9,5
PC30	30	2000	57	623	338	12
PC50	50	2000	96	918	338	17
PC75	75	2000	127	1190	338	22,5

Як видно з табл. 1, тривалість нагрівання води від температури 15 °С до 65 °С залежить прямопропорційно залежить від її об'єму в водогрійному резервуарі та потужності ТЕНа . Питома енергоємність водонагрівачів ЕВАД Atlantic, яка розраховується за формулою:

$$E_{\text{пит.}} = P_1 \cdot \tau / (V_{\text{в.р.}} \cdot 60000), \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{дм}^3;$$

де: P_1 – потужність ТЕНа, Вт;

τ – тривалість розігріву, хв.;

$V_{\text{в.р.}}$ – об'єм водогрійного резервуара, дм³;

складає від 0,056 до 0,06 кВт·год/дм³, що залежить від особливостей конструкції моделі.

Водонагрівачі накопичувальні (бойлери) фірми «Družstevní závody Dražice - strojírna s.r.o.» (Чехія) принципово мають аналогічну будову водонагрівачам

ЕВАД Atlantic. І відрізняються лише верхнім розташування пуско-регулювальної апаратури в моделях ОКСЕ 100 S/2,2 кВт, ОКСЕ 125 S/2,2 кВт; в

моделях ОКСЕ 160 S, ОКСЕ 200 S, ОКСЕ 250 S – бічним розташування пуско-регулювальної апаратури [4].

Принципова схема водонагрівачів серії ОКСЕ S наведена на рис. 2.

Рис. 2 – Принципова схема водонагрівачів серії ОКСЕ S.

Технічні характеристики водонагрівачів серії ОКСЕ S наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Технічні характеристики водонагрівачів серії ОКСЕ S

Характеристики	ОКСЕ 100 S /2,2	ОКСЕ 125 S /2,2	ОКСЕ 160 S	ОКСЕ 200 S	ОКСЕ 250 S	ОКСЕ 300 S
Об'єм [л]	98	128	157	210	250	300
Маса [кг]	39	45	52	72	76	80
Максимальний тиск баку [бар]	6	6	6	6	6	10
Максимальна температура води [°C]	80					
Тривалість нагрівання від 10°C до 60°C [год]	2,6	3,3	В залежності від типу ТРК (аксесуари)			
Клас енергоефективності	C	C	C	C	C	C

Питома енергоемність водонагрівачів серії ОКСЕ S не відрізняється від водонагрівачів ЕВАД Atlantic.

Таким чином, можна констатувати, що накопичувальні водонагрівачі (бойлери) незалежно від фірм виробника мають принципово однакову будову.

1.3 Будова, принцип дії та технічні характеристики водонагрівачів безперервної дії

Водогрівачі безперервної дії називаються проточними, які відрізняються від накопичувальних, в першу чергу, потужністю теплогенеруючого пристрою.

Вітчизняна і іноземна промисловість випускає широкий асортимент проточних водонагрівачів різної потужності та, відповідно, продуктивності.

Проточні водонагрівачі «ТИТАН», які випускає приватне виробниче підприємство «ТИТАН» (Україна) призначені для нагрівання води до температури нижче за точку кипіння з подальшим її використанням у якості теплоносія для опалювальних систем та системах гарячого водопостачання [5].

Схема проточного підлогового електроводонагрівача «ТИТАН» потужністю 3...120 кВт наведена на рис. 3, потужністю 135...180 кВт на рис. 4.

Водонагрівач складається з утепленого закритого циліндричного водогрійного резервуара 2, в якому розташовані ТЕНи 1. Сам водогрійний резервуар 2 кріпиться всередині металевому корпусу.

Зверху металевому корпусу розташована панель керування, в склад якої, залежно від модифікації, входять: індикатор температури води 3; індикатор тиску 4; ручки терморегуляторів для регулювання температури води на виході із водонагрівача 7, клавішні перемикачі потужності 8; добовий програматор 6, лампи «сухого ходу» та витоку води 5. На бок вий поверхні водонагрівача розташовані діелектрична втулка 9 для вводу живильного кабелю, вентиляційний отвір 12, болт заземлення 14. Водонагрівач підключається до опалювальної або водопровідної системи за допомогою патрубків холодної 10 та гарячої 11 води.

Водонагрівач підключаються до трифазної електричної мережі з номінальною напругою 380 В або однофазною напругою 220 В, частотою 50 Гц та працюють в автоматичному режимі.

Рис. 3 – Принципова схема проточного водонагрівача «ТИТАН» потужністю 3...12 кВт

Рис. 4 - Принципова схема проточного водонагрівача «ТИТАН» потужністю 135...180 кВт

У верхній частині водогрійного резервуара встановлюється вимикач поплавкового типу, який захищає ТЕНи від «сухого ходу». У разі настання «сухого ходу» він вимикає ТЕНи від електромережі, про що сигналізує червона лампа 5 на панелі керування.

Технічні характеристики водонагрівачів «ТИТАН» наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Технічні характеристики проточних підлогових водонагрівачів «ТИТАН»

Потужність, кВт	Напруга, В -10 %; +10 %	Кількість ступенів потуж-ті шт.	Складові ступенів потужності кВт	Різьба на вході	Габаритні розміри*, мм, не більше	Маса, кг, не більше
3	220	2	1,5+1,5	02''	295x415x850	30
4	220	2	2+2	02''	295x415x850	30
5	220	2	2+3	02''	295x415x850	30
6	220/380	2	2+4	02''	295x415x850	30
9	380	2	4,5+4,5	02''	295x415x850	30
12	380	2	6+6	02''	295x415x850	30
15	380	2	6+9	02''	295x415x850	30
19,5	380	2	4,5+15	02''	295x415x850	30
24	380	2	9+15	02''	295x415x850	30
30	380	2	15+15	02''	295x415x850	30
36	380	3	18+18	02''	355x525x860	45
39	380	3	12+12+15	02''	355x525x860	45
45	380	3	15+15+15	02''	355x525x860	50
60	380	3	30+15+15	02''	355x525x860	55
75	380	3	15+30+30	02''	495x670x860	75
90	380	3	30+30+30	02''	495x670x860	80
105	380	3	30+30+45	02''	495x670x860	85
120	380	3	30+30—60	02''	495x670x860	90
135	380	3	30+45+60	130×80	620x700x1335	169
150	380	3	45+45+60	130×80	620x700x1335	173
165	380	3	45+60+60	130×80	620x700x1335	177
180	380	3	60+60+60	130×80	620x700x1335	181

Дані щодо продуктивністю за гарячою водою відсутні.

Водонагрівачі проточні електричні VED фірми «Vaillant GmbH» (Німеччина) випускаються з потужністю 8, 12, 14, 16 і 18 кВт [6].

Принципова схема водонагрівачів електричних проточних серії VED наведена

на рис. 5.

Рис. 5 - Принципова схема електричних проточних водонагрівачів серії VED:

1 – клема; 2- вимикач запобіжний; 3 – ущільнення для захисту від води; 4 – гвинт регулювальний; 5 – реле силове; 6 – перемикач потоку води; 7 – перемикач потужності; 8 – місце для додаткової клеми; 9 – підключення холодної води; 10 – нижнє ущільнення для захисту від води; 11 – підключення гарячої води; 12 – колба нагріву води зі спіралями «відкритого» типу

Вода у водонагрівач поступає через ввід холодної води у колбу нагріву води зі спіралями «відкритого» типу 12, де нагрівається до заданої за допомогою регулювального гвинта 4 температури, проходить через вимикач запобіжний (захист від «сухого ходу») 2 та перемикач потоку води 6 (реле потоку) і на виході з

водонагрівача потрапляє в трубопровід розбору гарячої води. За допомогою регулятора 7 можна регулювати потужність електронагрівальних елементів залежно від потреб у гарячій воді в місцях розбору.

Технічні характеристики водонагрівачів серії VED наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Технічні характеристики електричних проточних водонагрівачів серії VED

Показники	Од.	VED H 12/7	VED H18/7	VED H 21/7	VED H 24/7	VED H 27/7
1	2	3	4	5	6	7
Для постачання до		однієї або кількох точок вибору				
Конструкція		прилад для настінною монтажу				
Оснащення		нагрівальна спіраль прямої дії				
Внутрішній об'єм	л	0,4				
Габаритні розміри						
ширина	мм	240				
висота	мм	481				
глибина	мм	100				
Вага з заповненням водою	кг	4,4				
Обсяг відбору води – часткове навантаження	л/хв.	2,7	3,8	4,4	5,1	5,7
Обсяг відбору води – повне навантаження	л/хв.	3,8	5,8	6,7	7,7	8,6
Тиск для включення часткового навантаження	МПа	0,020	0,030	0,035	0,040	0,045

1	2	3	4	5	6	7
Виміряна	В	3/3Е~ 400				
Виміряна	Гц	50 Гц				
Мінімальний опір води	Ω см	>900				
Безпека		відповідає німецьким та австрійським правилам техніки безпеки, захищений від іскор, без зворотної дії мережі				
Тип захисту		IP 25 = захист робочої води				

Питома енергоємність проточних електричних водонагрівачів серії складає від 0,053 до 0,035 кВт·год./дм³ залежно від моделі і зменшується зі збільшенням потужності водонагрівача.

1.4 Висновки за першим розділом

1. Можна констатувати, що проточні електричні водонагрівачі за принциповими схемами мають схожі конструктивні елементи.

2. Більш просту будову мають накопичувальні водонагрівачі, в яких приготування гарячої води (нагрівання від холодної до гарячої) розділено в часі за періодом нагрівання. Через невелику потужність (до 2,2 кВт) підключаються до однофазної мережі.

3. Проточні водонагрівачі мають більш складну будову, оснащені не тільки пристроями регулювання температури гарячої води, але і приладами захисту. Через велику потужність (від 6 кВт) підключаються в трифазну мережу.

4. Порівняння ефективності конструкції накопичувальних і проточних водонагрівачі потребує додаткового розгляду, позаяк порівнювати енергоємність водонагрівачів за заявленою різною кінцевою температурою води на виході є некоректним.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення ефективності конструкції різних накопичувальних і проточних водонагрівачів

Методики оцінки ефективності теплових апаратів мають за мету визначення і аналіз певних показників [7-10]:

- коефіцієнт корисної дії η_T – відношення кількості корисно-витраченої енергії до загальної витрати енергії;
- питома витрата електроенергії – b_e – кількості витраченої електричної енергії на виробництво одиниці продукції (кВт·год./кг, кВт·год./шт. тощо);
- питома металоємність $G_{\text{пит}}$ – відношення маси апарата до його продуктивності (кг·год./кг).

Порівнювати енергетичну ефективність водонагрівачів за допомогою ентропійного чи ексергетичного методів аналізу недоцільно через однаковий температурний рівень процесу нагрівання води та використання ТЕНів однакової конструкції.

У розглянутих водонагрівачів різна кінцева температура нагрівання води, тому для порівняння питомих показників необхідно введення єдиної продуктивності.

У водонагрівачів для порівняння введено поняття стандартної продуктивності – маса нагрітої від температури 10 °С до кінцевої температури 90 °С в одиницю часу.

Для перерахунку дійсної продуктивності в стандартну використовують формулу:

$$D_{\text{ст}} = D_{\text{д}} \cdot \frac{(t_{\text{к}} - t_{\text{поч}})}{80}, \text{ кг/год.};$$

де: 80 – різниця температур за стандартною продуктивністю.

Розрахунок стандартної продуктивності розглянутих в розділі 1 водонагрівачів з найменшою енергоємністю зведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Стандартна продуктивність водонагрівачів ЕВАД, ОКСЕ S та VED

Найменування продуктивності	Найменування модулі водонагрівача			
	ЕВАД O'Pro Slim PC30	ОКСЕ 125 5 /2,2	VED H 12/7	VED H 27/7
Дійсна продуктивність, кг/год.	31,58	38,79	228	516
Різниця температур ($t_k - t_{\text{поч}}$), °C	50	50	40	40
Стандартна продуктивність, кг/год.	19,74	24,24	114	258

Розрахунок питомої енергоємності і питомої металоємності за стандартною продуктивністю водонагрівачів зведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Питома енергоємність і питома металоємність водонагрівачів ЕВАД, ОКСЕ S та VED

Найменування продуктивності	Найменування модулі водонагрівача			
	ЕВАД O'Pro Slim PC30	ОКСЕ 125 5 /2,2	VED H 12/7	VED H 27/7
Споживана потужність, кВт	2,0	2,2	12,0	27,0
Маса, кг	12,0	45	4,4	4,4
Питома витрата енергії b_e , кВт·год./кг	0,101	0,095	0,105	0,105
Питома металоємність $G_{\text{пит}}$, кг·год./кг	0,608	1,856	0,039	0,017

З табл. 6 видно, що найменшу питому витрату електроенергії має водонагрівач накопичувальний ОКСЕ 125 5 /2,2, а найбільшу – водонагрівачі проточні VED H 12/7 і VED H 27/7.

Найменшу металоємність має проточний водонагрівач VED H 27/7, а найбільшу - ОКСЕ 125 5 /2,2.

З огляду на те, що пріоритетним завданням конструювання нових апаратів є зниження питомої витрати електроенергії на приготування одиниці продукції (в даному випадку 1 кг води з температурою 90 °С) найбільш ефективною конструкцією є конструкція водонагрівача накопичувального ОКСЕ 125 5 /2,2.

2.2 Обґрунтування конструкції проектного водонагрівача

На основі аналізу ефективності конструкцій водонагрівачів можна зробити висновок, що для проектування найбільш ефективним у якості прототипу є ОКСЕ 125 5 /2,2, але в зв'язку з тим, що необхідно спроектувати проточний водонагрівач, він має бути оснащений ТЕНами відповідної потужності.

Принципова конструктивна схема проектного водонагрівача наведена на рис. 6.

Рис. 6 – Принципова конструктивна схема проектного водонагрівача

Проектований водонагрівач складається із водогрійного резервуара з діаметром $d_{в.р.}$ і висотою $H_{в.р.}$ (рис. 6). Водогрійний резервуар має теплову ізоляцію товщиною $\delta_{із.}$ та захисний кожух (облицювання). У водонагрівачі передбачені зазори для монтажу ТЕНів та струмопровідних частин між кришкою водогрійного резервуару і кришкою водонагрівача знизу і зверху, а також зазору для монтажу пускорегулювальної апаратури висотою $H_з.$ Водонагрівач встановлюється на постамент висотою $H_п.$ Загальна висота водонагрівача $H_в.$, а його діаметр – $d_в.$ ТЕНи кріпляться на двох кришках товщиною $H_т.$

Дослідження терміну служби прямих ТЕНів в порівнянні з гнучими, результати яких наведені в [1], показали, що найбільш вразливими місцями ТЕНів є місця їх вигину через розшарування електроізоляційно теплопровідної маси – периклазу. Розшарування периклазу погіршує умови теплообміну спіралі з ним, що призводить до її перегріву та швидкого перегорання. Тому з метою збільшення терміну безаварійної роботи водонагрівача приймаємо прямі (без вигинів) ТЕНи

2.3 Обґрунтування та вибір матеріалів для проектування та виготовлення проектного водонагрівача

Розглянуті в розділі 1 водонагрівачі мають захисний кожух із звичайної сталі із захисним емалевим покриттям та водогрійний резервуар зі звичайної сталі за покриттям внутрішньої поверхні із спеціальної скло- або склокерамічної емалі. Вибір звичайної сталі у якості матеріалів для їх виготовлення аргументується значною економією коштів в порівнянні з використанням нержавіючої сталі.

В зв'язку з тим, що гаряча вода від проектного водонагрівача буде використовуватися не лише на санітарно-гігієнічні цілі, але й на санітарно-технічні, в тому числі і миття молокопроводів та обладнання для доїння молока, вимоги до якості такої води аналогічні з питною. Через це к якості матеріалів водогрійного резервуара, захисного кожуху доцільніше використовувати харчову нержавіючу сталь 12Х18Н10Т [11], причому товщину листа, з якого

буде виготовлятися водогрійний резервуар, приймаємо 0,0015 м за [12] для забезпечення надійності, а товщину листа для захисного кожуху (облицювання) – 0,0005 м за [12].

В якості теплової ізоляції у розглянутих водонагрівачів використовується пінополіуретан, який задувається і твердіє в порожнинах між водогрійним резервуаром та захисним кожухом. Використання такого теплоізоляційного матеріалу через невелике значення коефіцієнту теплопровідності ($\lambda_{із} = 0,038 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) дозволяє знизити матеріалоємність теплових апаратів в порівнянні з іншими теплоізоляційними матеріалами. Крім того, використання пінополіуретану дозволяє істотно знизити втрати тепла в навколишнє середовище через зниження температури на зовнішніх поверхнях апаратів без значного збільшення габаритних розмірів. За температури води у водогрійному резервуарі не вище 90 °C перегріву пінополіуретану не відбувається, тому термін його служби нічим не обмежується. З огляду на вищезазначене у якості теплоізоляційного матеріалу в проектуваному водонагрівачі приймаємо пінополіуретан.

Кришки монтажу ТЕНів потребуються товщини не менше 0,003 м, а у якості матеріалу для їх виготовлення приймаємо лист з харчової нержавіючої сталі 12X18Н10Т за [11] товщиною 0,003 м за [12].

Для підтримання заданої температури води з можливістю її регулювання приймаємо терморегулятор термостат цифровий W3230 -50~120C 220В АС [13]. Даний терморегулятор дозволяє встановлювати диференціал температури регулювання не вище 3°С, чого цілком достатньо для підтримання заданої температури. В комплект терморегулятора входить датчик термоопору для отримання сигналу на терморегулятор.

Для захисту ТЕНів від «сухого ходу», окрім терморегулятора, приймаємо датчик протоку рідини з латуні YF-B6, G3/4 [14] через його невелику вартість та надійність. Датчик монтується на вході у водонагрівач і за відсутності протоку води через нього перестає подавати сигнал на систему керування і автоматизації, яка знеструмлює ТЕНи. У випадку відновлення водопостачання датчик почне подавати сигнал, і на ТЕНи відновиться подавання електричного струму.

Для виготовлення ТЕНів приймаємо трубки з харчової нержавіючої сталі 12Х18Н10Т за [11] з діаметром 0,014 м і товщиною трубки 0,001 м за [15]. Для виготовлення спіралі приймаємо дріт з ніхрома Х20Н80 діаметром 0,001 м, а у якості теплопровідної електроізоляційної маси приймаємо окис магнію – периклаз [16]. У якості матеріалу контактних стержнів приймаємо мідь М1 за [17] з круга сортопрокатного діаметром 8 мм [18]. Втулка-ізолятор трубки ТЕНа виготовляється з кераміки.

2.4 Висновки за другим розділом

В результаті виконання розділу:

- проведено розрахунок показників ефективності використання розглянутих в першому розділі водонагрівачів безперервної та періодичної дії;
- на основі аналізу питомих показників роботи обрано прототип для проектування водонагрівача - ОКСЕ 125 5 /2,2;
- на основі конструктивної схеми водонагрівача ОКСЕ 125 5 /2,2 обґрунтовано і розроблено конструктивну схему проектованого водонагрівача зі стандартною продуктивністю 400 кг/год.;
- обґрунтовані і обрані матеріали для проектування і виготовлення водонагрівача.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Конструкторський розрахунок водонагрівача

3.1.1 Розрахунок геометричних розмірів водонагрівального резервуара

Вхідні дані для розрахунку:

Стандартна продуктивність водонагрівача $D_{cm} = 400$ кг/ч.

Тривалість розігрівання водонагрівача (за аналогами з розділу 1) $\tau = 0,2$ год.

Густина води за 20°C $\rho = 1000$ кг/м³.

Співвідношення висоти водогрійного резервуара $H_{e.p.}$ до його діаметру $H_{e.p.}/d_{e.p.}$
= 2.

Температура на поверхні водонагрівального резервуара $t_n = 25^\circ\text{C}$.

Матеріал теплової ізоляції – пінополіуретан ($\lambda_{із.} = 0,038$ Вт/(м·°C)).

Розрахунок проводився за методикою, наведеною в [19].

1. Об'єм водогрійного резервуара

$$V_{в.р.} = D_{д.} \cdot \frac{\tau}{\rho} = 400 \cdot \frac{0,2}{1000} = 0,08 \text{ м}^3.$$

2. Діаметр водогрійного резервуара

$$d_{в.р.} = \sqrt[3]{4 \cdot V_{в.р.} / (2 \cdot \pi)} = \sqrt[3]{4 \cdot 0,08 / (2 \cdot 3,14)} = 0,412 \text{ м.}$$

3. Висота водогрійного резервуара $H_{e.p.} = 0,823$ м.

4. Товщини теплової ізоляції водогрійного резервуара

$$\delta_{із.} = \lambda_{із.} \cdot (t_1 - t_{п.}) / ((9,77 + 0,07 \cdot (t_{п.} - t_{пов.})) \cdot (t_{п.} - t_{пов.})), \text{ м;}$$

де $\lambda_{із.}$ – коефіцієнт теплопровідності ізоляції, $\lambda_{із.} = 0,038$ Вт/(м·°C);

$t_1, t_{\text{п}}, t_{\text{пов.}}$ – відповідно, температури гарячої води у водогрійному резервуарі, зовнішньої поверхні ізоляції та навколишнього середовища, °С;

$t_1 = 90 \text{ °С}; t_{\text{п}} = 25 \text{ °С}$ для зменшення втрат в навколишнє середовище; $t_{\text{пов.}} = 20 \text{ °С};$

$$\delta_{\text{із.}} = 0,038 \cdot (90 - 25) / ((9,77 + 0,07 \cdot (25 - 20)) \cdot (25 - 20)) = 0,049, \text{ м.}$$

5. Зовнішній діаметр і висота теплоізолюваного водогрійного резервуара

$$d_{\text{в}} = d_{\text{в.р.}} + 2\delta_{\text{м}} + 2\delta_{\text{із.}} + 2\delta_{\text{к.}}$$

де: $d_{\text{м}}$ - товщина стінок водонагрівача, приймаємо $d_{\text{м}} = 0,0015 \text{ м};$

$d_{\text{к}}$ - товщина облицювання, приймаємо $d_{\text{к}} = 0,0008 \text{ м};$

$$d_{\text{в}} = 0,511 \text{ м};$$

$$H_{\text{в}} = H_{\text{в.р.}} + 2\delta_{\text{із.}} + 3H_3 + 2\delta_{\text{м}} + 2\delta_{\text{к}} + H_{\text{п}}, \text{ м};$$

де: H_3 - висота зазору для монтажу ТЕНів та струмопровідних частин між кришкою водогрійного резервуару і кришкою водонагрівача знизу і зверху, а також зазору для монтажу пускорегулювальної апаратури, м; приймаємо $H_3 = 0,05 \text{ м};$

$H_{\text{п}}$ – висота постаменту, м; приймаємо $H_{\text{п}} = 0,1 \text{ м.}$

$$H_{\text{в}} = 1,177 \text{ м.}$$

6. Розраховуємо масу окремих елементів теплоізолюваного водогрійного резервуару за формулою:

$$m_i = F_i \cdot \delta_i \cdot \rho_i, \text{ м};$$

де: F_i – площа i -го елемента конструкції, м²;
 δ_i – товщина i -го елемента конструкції, м;
 ρ_i – густина i -го елемента конструкції, м.

Площу вертикальних циліндричних поверхонь розраховуємо за формулою:

$$F_i = \pi \cdot d_i \cdot H_i, \text{ м};$$

де: d_i – діаметр i -го елемента конструкції, м;
 H_i – висота i -го елемента конструкції, м.

Площу горизонтальних кругових елементів розраховуємо за формулою:

$$F_i = \pi \cdot d_i^2 / 4, \text{ м}.$$

Розрахунок маси елементів зводимо в табл. 7.

Приймаємо, що всі металеві елементи конструкції виконані з харчової нержавіючої сталі 12Х18Н10Т густиною $\rho = 7900$ кг/м³.

Таблиця 7 – Розрахунок маси окремих елементів конструкції теплоізованого водогрійного резервуара

Найменування елемента	Площа, $F, \text{ м}^2$	Товщина, $\delta, \text{ м}$	Густина, $\rho, \text{ кг/м}^3$	Маса, $m, \text{ кг}$
1. Водогрійний резервуар	1,0645	0,0015	7900	12,615
2. Кришка монтажу ТЕНів	0,1331	0,003	7900	3,154
3. Дно резервуара	0,1331	0,003	7900	3,154
4. Корпус водонагрівача	1,7277	0,0005	7900	6,824
5. Кришка водонагрівача	0,2049	0,0005	7900	0,809
6. Дно водонагрівача	0,2049	0,0005	7900	0,809
7. Теплова ізоляція	1,3307	0,049	50	3,248
8. Постамент	0,1604	0,003	7900	3,802
Загальна маса елементів, кг				35,048

В зв'язку з тим, що при розрахунку загальної маси теплоізовованого водогрійного резервуара не враховувалася маса ТЕНів, комутаційної арматури, елементів кріплення, збільшуємо його загальну масу на 10%, тобто

$$m_{в.р.і} = 38,55 \text{ кг.}$$

3.1.2 Тепловий розрахунок водонагрівача

1. Розрахунок складових теплового балансу для нестационарного режиму роботи водонагрівача:

$$Q = Q_1 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж};$$

де: Q_1 – корисно використане тепло, кДж;

Q_5 – втрати тепла зовнішньою поверхнею теплоізовованого водогрійного резервуара в навколишнє середовище, кДж;

Q_6 – втрати тепла на розігрів конструкції водонагрівача, кДж.

2. Корисно використане тепло

$$Q_1 = G_{в} \cdot c_{в} \cdot (t_{к} - t_{п.оч.}), \text{ кДж};$$

де: $G_{в}$ – маса води у водогрійному резервуарі, кг; $G_{в} = 80$ кг;

$c_{в}$ - теплоємність води, $c_{в} = 4,19$ кДж/кг·°С;

$t_{к}$ - кінцева температура води у водогрійному резервуарі, $t_{к} = 90$ °С;

$t_{п.оч.}$ - початкова температура води, $t_{п.оч.} = 10$ °С.

$$Q_1 = 26816 \text{ кДж.}$$

3. Втрати тепла в навколишнє середовище стінками водонагрівача розраховуємо за формулою:

$$Q_5 = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot (t_{\text{пi}} - t_{\text{кi}}) \cdot \tau, \text{ кДж};$$

де: $t_{\text{пi}}$ – середня розрахункова температура i -ї ділянки поверхні тепловіддачі, °С;

$$t_{\text{пi}} = (t_{\text{н.пi}} + t_{\text{к.пi}})/2, \text{ °С};$$

$t_{\text{н.пi}}$, $t_{\text{к.пi}}$ – відповідно, початкова і кінцева температури i -го участка поверхності, °С;

α_i - коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище даною ділянкою поверхні, Вт/(м²·°С):

$$\alpha_i = \alpha_{\text{кi}} + \alpha_{\text{вi}},$$

$\alpha_{\text{кi}}$, $\alpha_{\text{вi}}$ - коефіцієнти тепловіддачі конвекцією і випромінюванням, Вт/(м²·°С);

З достатньою для наближених розрахунків точністю коефіцієнт тепловіддачі конвекцією $\alpha_{\text{кi}}$ за вільного руху повітря визначаємо за формулами:

- для вертикальної циліндричної поверхні

$$\alpha_{\text{кi}} = 5,88 \cdot C \cdot (t_{\text{пi}} - t_{\text{пов.}})/d, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)};$$

де: d - діаметр циліндра, $d = 0,510$ м;

C - коефіцієнт, що залежить від висоти циліндра (приймається в залежності від висоти циліндра за (1);

- для горизонтальної пласкої поверхні

$$\alpha_{\text{кi}} = 3,42 \cdot (t_{\text{пi}} - t_{\text{пов.}})^{0,25}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)};$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням визначаємо за формулою Стефана - Больцмана:

$$\alpha_{в.і} = (\varepsilon_i \cdot C_0 / (t_{п.і} - t_{пов.})) \cdot (((t_{п.і} + 273) / 100)^4 - ((t_{пов.} + 273) / 100)^4), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

F_i – поверхня тепловіддачі i -ї ділянки, м^2 ;

τ – тривалість роботи апарата, с.

Поверхню водонагрівача умовно ділимо на 3 ділянки (корпус водонагрівача, кришка та днище водонагрівача. Дані кінцевих температур беремо з розрахунку теплової ізоляції.

Розрахунок Q_5 зводимо в таблицю 8.

Таблиця 8 – Розрахунок втрат тепла в навколишнє середовище під час нестационарного режиму поверхнею водонагрівача

Найменування ділянки	$t_{\text{поч.п.і.}}$, °C	$t_{\text{кн.і.}}$, °C	$t_{\text{н.і.}}$, °C	C	$\alpha_{\text{к.і}}$	$\alpha_{\text{в.і}}$	α_i	Q_{5i}
Корпус водонагрівача	20	30	25	1	17	2,53	19,74	134,19
Днище водонагрівача	20	30	25	-	5,11	2,53	7,64	5,64
Кришка водонагрівача	20	30	25	-	5,11	2,53	7,64	5,64
Загальні втрати тепла в навколишнє середовище ΣQ_5 , кДж								145,5

$\varepsilon = 0,43$ - ступінь чорноти тепловіддаючої поверхні (1, с.389);

$C_0 = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

4. Втрати тепла на розігрів конструкцій водонагрівача проводимо за формулою:

$$Q_5 = \sum_{i=1}^{i=n} G_i \cdot c_i \cdot (t_{\text{кн.і}} - t_{\text{поч.і}}), \text{ кДж};$$

де: G_i – маса i -го елемента конструкції апарата, кг;

c_i - теплоємність i -го елемента конструкції апарата, кДж/(кг·К);

$t_{\text{кн.і}}$, $t_{\text{поч.і}}$ - кінцева і початкова температури i -го елемента конструкції апарата, °C.

Розрахунок втрат тепла на розігрів конструкцій зводимо в табл. 9.

Таблиця 9 – Розрахунок втрат тепла на розігрів конструкцій водонагрівача

№ з/п	Найменування елемента	G , кг	c , кДж/(кг·К)	$t_{н.і.}$, °С	$t_{к.і.}$, °С	$Q_{6і.}$, кДж
1.	Водогрійний резервуар	12,615	0,46	20	80	348,2
2.	Кришка монтажу ТЕНів	3,154	0,46	20	80	87,0
3.	Дно резервуара	3,154	0,46	20	80	87,0
4.	Корпус водонагрівача	6,165	0,46	20	30	28,4
5.	Кришка водонагрівача	0,807	0,46	20	30	3,7
6.	Дно водонагрівача	0,807	0,46	20	30	3,7
7.	Теплова ізоляція	3,248	0,9	20	55	102,3
8.	Постамент	3,802	0,46	20	25	8,7
Загальні втрати тепла на розігрів конструкцій, ΣQ_6 , кДж						748,5

В зв'язку з тим, що в розрахунках втрат тепла на розігрів конструкцій не враховувалися втрати тепла на розігрів трубопроводів, блоку керуючої і контролюючої арматури, елементів кріплення і монтажу, збільшуємо втрати тепла на розігрів конструкцій на 10%, тобто

$$Q_6 = 726,38 \text{ кДж.}$$

5. Загальні втрати тепла водонагрівачем під час нестационарного режиму:

$$Q = 27664,67 \text{ кДж.}$$

6. Розрахунок складових для стаціонарного режиму роботи водонагрівача

$$Q' = Q_1 + Q_5, \text{ кДж;}$$

7. Розрахунок корисно використаного тепла здійснюємо за формулою:

$$Q_1 = D_{\text{ст}} \cdot c \cdot (t_{\text{в.к.}} - t_{\text{в.поч.}}) \cdot \tau, \text{ кДж};$$

де: $D_{\text{ст}}$ – стандартна продуктивність водонагрівача, кг/ч;

c – теплоємність води, $c = 4,19$ кДж/(кг·К);

$t_{\text{в.к.}}, t_{\text{в.поч.}}$ – температура води на виході і вході у водонагрівач, °С;

τ – тривалість роботи водонагрівача, $\tau = 1$ год.

$$Q_1 = 134080 \text{ кДж.}$$

8. Розрахунок втрат тепла поверхнею водонагрівача в навколишнє середовище здійснюємо за формулою:

$$Q_5 = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot F_i \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{пов}}) \cdot \tau, \text{ кДж.}$$

Розрахунок зводимо в таблицю 10.

Таблиця 10 – Розрахунок втрат тепла в навколишнє середовище під час стаціонарного режиму поверхнею водонагрівача

№ з/п	Найменування дільниці	$t_n, \text{ }^\circ\text{C}$	C	$\alpha_{\text{к.і.}}$	$\alpha_{\text{л.і.}}$	α_i	Q_{5i}
1	Корпус водонагрівача	25	1	17	2,53	20	670,94
2	Дно водонагрівача	25	-	5,11	2,53	7,6440	248,75
3	Кришка водонагрівача	25	-	5,11	2,53	7,6440	248,75
Загальні втрати тепла в навколишнє середовище, $\sum Q_5$, кДж							1168,74

Загальні втрати тепла під час стаціонарного режиму водонагрівача складають

$$Q_5 = 135043 \text{ кДж.}$$

9. ККД водонагрівача під час стаціонарного режиму складас:

$$\eta = 99,1 \text{ \%}.$$

10. Потужність водонагрівача під час нестационарного режиму

$$P = Q/(3600 \cdot \tau) = 38,59 \text{ кВт.}$$

11. Потужність водонагрівача під час стаціонарного режиму

$$P = Q/(3600 \cdot \tau) = 38,59 \text{ кВт.}$$

Розрахунковим режимом для апарата безперервної дії є стаціонарний, тому для подальшого розрахунку приймаємо потужність 37,57 кВт.

3.2 Конструкторський розрахунок теплогенеруючого пристрою

Вхідні дані для розрахунку:

У якості теплогенеруючих елементів приймаємо трубчасті електричні нагрівальні елементи (ТЕНи).

Потужність ТЕНів – 37,57 кВт.

Довжина ТЕНа з урахуванням пасивних кінців – $L = H_{e.p.} = 0,823 \text{ м.}$

Діаметр трубки ТЕНа – 0,014 м.

Товщина трубки ТЕНа – 0,001 м.

Матеріал трубки ТЕНа – харчова нержавіюча сталь 12Х18Н10Т.

Матеріал контактного стержня – мідь М1.

Матеріал дроту спірал ТЕНа – ніхром Х20Н80.

Розрахунок проводився за методикою, наведеною в [19].

3.2.1 Розрахунок геометричних параметрів ТЕНів

1. Потужність одного ТЕНа

$$P_1 = P/n, \text{ Вт}$$

де: n - кількість ТЕНів у водонагрівачі, приймаємо $n = 12$ шт.

$$P_1 = 3,131 \text{ кВт.}$$

2. Активну довжину ТЕНа розраховуємо за формулою:

$$L_a = P_1 / (\pi \cdot D \cdot W), \text{ м;}$$

де: D - зовнішній діаметр трубки ТЕНа (від $6 \cdot 10^{-3}$ до $16 \cdot 10^{-3}$ м); за вхідними даними $D = 0,014$ м;

W – питома поверхнева потужність, Вт/м², з (1, с.92) приймаємо $W = 98300$ Вт/м²;

$$L_a = 0,723 \text{ м.}$$

3. Повна довжина ТЕНа після опресування з урахуванням пасивних кінців

$$L = L_a + 2 \cdot L_n, \text{ м;}$$

де: L_n - довжина пасивного кінця ТЕНа, м, приймаємо $L_n = 0,05$ м;

$$L = 0,823 \text{ м.}$$

4. Опір спіралі визначаємо за формулою:

$$R_l = U^2 / P_l, \text{ Ом};$$

де: U - напруга електричної мережі, В, приймаємо $U = 220$ В для з'єднання ТЕНів у 3-хфазну мережу у «зірку».

$$R_l = 15,48 \text{ Ом.}$$

5. Довжину дроту спіралі визначаємо за формулою:

$$l = (\pi \cdot d^2 \cdot R_l) / (4 \cdot \rho), \text{ м};$$

де: d – діаметр дроту спіралі, м, (від $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $1,2 \cdot 10^{-3}$ м), приймаємо $d = 0,0008$ м;
 ρ – питомий опір матеріалу спіралі, Ом·м, приймаємо $\rho = 0,00000115$ Ом·м;

$$l = 6,753 \text{ м.}$$

6. Зовнішній діаметр витку спіралі розраховуємо за формулою:

$$d_{cn.} = D - 2 \cdot d_{cm} - 2 \cdot d_{iz.}, \text{ м};$$

де: $d_{cm.}$ - товщина стінки трубки ТЕНа (от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ м), приймаємо за вхідними даними $d_{cm.} = 0,001$ м;

$d_{iz.}$ – товщина шару периклаза (не менше $2 \cdot 10^{-3}$ м), приймаємо $d_{iz.} = 0,002$ м;

$$d_{cn.} = 0,008 \text{ м.}$$

7. Діаметр стержня для навивки спіралі розраховуємо за формулою:

$$d_{cm.} = d_{cn.} / 1,07 - d = 0,0067, \text{ м.}$$

8. Довжину витка спіралі розраховуємо за формулою:

$$l_{\epsilon} = 1,07 \cdot \pi \cdot (d_{cm.} + d) = 0,025, \text{ м};$$

9. Число витків спіралі розраховуємо за формулою:

$$n = l / l_{\epsilon} = 269, \text{ шт.}$$

10. Крок намотки витків спіралі розраховуємо за формулою:

$$h = L_a / n = 0,00269 \text{ м};$$

11. Коефіцієнт густини намотки спіралі розраховуємо за формулою:

$$K = h / d = 3,368.$$

12. Відстань між витками спіралі розраховуємо за формулою:

$$a = d \cdot (K - 1) = 0,0019 \text{ м};$$

Для забезпечення нормального відводу тепла від спіралі відстань між витками повинна бути в 2-3 рази більше діаметра дроту спіралі, що в нашому випадку витримується.

13. Внутрішній діаметр трубки ТЕНа розраховуємо за формулою:

$$D_{\epsilon} = D - 2 \cdot d_{cm.} = 0,012 \text{ м.}$$

14. Розраховуємо геометричні характеристики спіралі за формулами:

$$X = d / D_{\epsilon} = 0,067;$$

$$Y = d / d_{\epsilon} = 0,1;$$

$$Z = D_{\epsilon} / d_{\epsilon} = 1,5;$$

$$K = h / d = 3,368.$$

3.2.2 Визначення теплового режиму роботи ТЕНа

1. Перепад температур в ізоляційному шарі на одиницю теплового потоку $[\Delta t/q_l]$ за відомої величини коефіцієнта теплопровідності ізоляційної маси (для периклаза $\lambda = 0,022$ Вт/(м·°C) визначаємо за номограмою (1, с.104):

$$[\Delta t/q_l] = 3,2 \text{ см}\cdot\text{°C/Вт}.$$

2. Питомий тепловий потік на одиницю довжини спіралі дорівнює:

$$q_l = P_1 / L_a \cdot 100 = 43,213, \text{ Вт/см}.$$

3. Перепад температур в ізоляційному шарі розраховуємо за формулою:

$$\Delta t = [\Delta t/q_l] \cdot q_l = 138,3 \text{ °C}.$$

4. Робочу температуру спіралі ТЕНа розраховуємо за формулою:

$$t_{cn.} = 1,3 \cdot \Delta t + t_{p.n.}, \text{ °C};$$

де: 1,3 - коефіцієнт, що враховує перепад температур в контактному шарі поверхня дроту – ізоляційна маса;

$t_{p.n.}$ – температура робочої поверхні ТЕНа, °C; в зв'язку з тем, що температура робочої поверхні ТЕНа, що працює у воді, не перевищує 108... 110 °C, приймаємо $t_{p.n.} = 108$ °C;

$$t_{cn.} = 287,8 \text{ °C}.$$

3.3. Техніко-економічні показники спроектованого водонагрівача

1. Питома енергоємність

$$E_{\text{пит.}} = 0,09392 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг.}$$

2. Металоємність водонагрівача

$$M_{\text{пит.}} = 0,09638 \text{ кг}\cdot\text{год/кг.}$$

3. Тепловий ККД водонагрівача

$$\eta = 99,1 \text{ \%}.$$

3.4 Опис спроектованого водонагрівача

За результатами конструкторських розрахунків водонагрівача і теплогенеруючого пристрою (ТЕНів) було виготовлено конструкторську документацію на водонагрівач, яка наведена в презентації кваліфікаційної роботи.

Водонагрівач проточний електричний молокоприймального відділення ферми призначений для нагрівання води від температури 10 °С до температури 90 °С та має стандартну продуктивність 400 кг/год.

Водонагрівач складається з циліндричного водогрійного резервуару (1) з харчової нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, виготовленого і звареного з листа товщиною 0,0015 м. Зверху ізнизу до корпусу водогрійного резервуару приєднані за допомогою зварювання фланці, до яких через прокладки з пароніту товщиною 0,002 м за допомогою болтів і гайок через шайбу кріпляться кришки ТЕНів (10), виготовлені з листа товщиною 0,003 м з харчової нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. На кришках ТЕНів кріпляться 12 прямих ТЕНів (4), що дозволяє мінімум вдвічі збільшити термін безаварійної роботи самого водонагрівача.

Штуцери ТЕНів вставляються через прокладки з пароніту товщиною 0,002 м та прикручуються гайками через шайбу, чим герметизується саме з'єднання.

Знизу і зверху до стінки водогрійного резервуара приварені патрубки підводу холодної води (12) і відводу гарячої води (11).

До водогрійного резервуара кріпиться захисний кожух (облицювання) (2), виготовлений з листа полірованої харчової нержавіючої сталі 12Х18Н10Т товщиною 0,0005 м. В простір між водогрійним резервуаром і захисним кожухом задувається пінополіуретан (3) в якості теплової ізоляції.

Знизу і зверху між кришками монтажу ТЕНів та знімними теплоізольованими кришками передбачено зазори товщиною 0,05 м для підключення електроапаратури.

Зверху над теплоізольованою кришкою і захисною кришкою з полірованої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т товщиною 0,0005 м передбачено зазор для монтажу пускорегулювальної апаратури.

Знизу водонагрівач кріпиться до циліндричного постаменту висотою 0,1 м.

На патрубку вводу холодної води закріплюється реле протоку рідини з латуні YF-B6, G3/4 (7), яке задіяне в схемі автоматизації роботи водонагрівача і призначене для вимикання подачі напруги на ТЕНи у випадку відсутності потоку води у водопроводі холодної води і є захистом від «сухого ходу» ТЕНів.

У верхній частині водогрійного резервуара встановлюється датчик термічного опору терморегулятора – термостата цифрового W3230 -50~120С 220В АС (9). За допомогою терморегулятора – термостату і датчика термічного опору в схемі автоматизації роботи водонагрівача здійснюється підтримання на заданому рівні температури гарячої води на виході з водонагрівача шляхом подавання або припинення подавання напруги на ТЕНи.

У водонагрівачі передбачено можливість регулювання потужності ТЕНів у співвідношенні 4 : 2 : 1. Для цього ТЕНи монтуються в 3 блоки (по 1 блок на кожен фазу), з'єднані в «зірку». В кожному блоці 4 ТЕНи на максимальній ступені потужності з'єднані паралельно; на половині потужності 2 ТЕНи вимкнені; на ¼ потужності 2 ТЕНи під'єднані паралельно, а за ними 2 паралельно з'єднані ТЕНи підключаються послідовно. Регулювання потужності ТЕНів здійснюється за

допомогою клавiш (8), винесених на панель керування у верхній частині водонагрiвача

3.5 Висновки за третім розділом

В результаті виконання третього розділу проведено конструкторські розрахунки проєктованого водонагрiвача і теплогенеруючого пристрою у вигляді 12 ТЕНів.

В результаті виконання конструкторського розрахунку проєктованого водонагрiвача:

- визначені розміри конструктивних елементів і самого водонагрiвача в цілому;
- проведено розрахунок товщини теплової ізоляції, яка забезпечить температуру на поверхні захисного кожуха не вище 25 °С, що значно скорочує нетехнологічні втрати тепла в проєктованому водонагрiвачі;
- здійснено тепловий розрахунок, внаслідок якого визначено необхідну потужність теплогенеруючого пристрою, а також показники ефективності роботи проєктованого водонагрiвача.

В результаті виконання конструкторського розрахунку ТЕНів:

- визначено кількість ТЕНів;
- визначені геометричні параметри кожного ТЕНа для його виготовлення;
- визначено тепловий режим роботи ТЕНів.

4 РОЗДІЛ (економіка, охорона праці та навколишнього середовища)

4.1 Охорона навколишнього середовища

Екологічна експертиза визначена як різновид наукових досліджень та виробничої діяльності державних підрозділів та громадських структур, що направлений на визначення небезпек та загроз навколишньому середовищу від господарсько-виробничої діяльності людини.

Підгрунтям екологічної експертизи є екологічні дослідження на різноманітних виробництвах, аналіз, оцінювання виробничих об'єктів при їх проектуванні, будівництві використанні та утилізації.

Основними стратегічними спрямуваннями щодо проведення екологічних експертиз є опрацювання висновків щодо визначення ступеня відповідальності проєктованого чи існуючого виробництва відповідним положенням та вимогам чинних законодавчих документів.

Дана діяльність направлена на захист природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, екологічну безпеку, впровадження технологій поширення використання відновлювальних природних ресурсів.

Метою щодо проведення екологічних експертиз є попередження виключення або мінімізація негативного виробничого впливу людини на природне середовище та власне здоров'я.

Результатом здійснення екологічних експертиз також є оцінювання ступенів екологічних небезпек від виробництв, як впроваджених, так і проєктних.

Проведення екологічної експертизи передбачено Законами України "Про охорону навколишнього природного середовища" (від 25.06.1991 р.), та "Про екологічну експертизу" (від 09.02.1995р.). Закон передбачає (розд. 6, стаття 26, 27) обов'язкове проведення екологічної експертизи.

Наслідками проведення екологічних експертиз є:

- запобігання імовірним шкідливим подіям там господарським рішенням під час планування, проектування та здійснення виробничої діяльності існуючих виробничих підрозділів та підприємств;

- відстеження, збереження та відновлення екологічно безпечної рівноваги у навколишньому середовищі.

Процеси виконання екологічних експертиз являють собою детальні, обширні та різнобічні системи досліджень на основі екологічної змістовності пропонованих проектних рішень з аналізуванням, порівнянням, спостереженням, описуванням вимог екологічного законодавства.

Стратегія сучасних технологій в молочному виробництві спрямована на природоохоронні заходи за кожним визначеним виробничим підрозділом та робочим місцем.

Сервісні роботи та відновлення технічної справності виробничого обладнання молокоприймального виробничого підрозділу є важливими елементами підтримання працездатності виробничих технологічних ліній з виробництва отримання молока.

Виробнича база для здійснення технічних обслуговувань та проведення ремонтних робіт технологічного обладнання під час отримання молока від дійних корів сформовані як складана система споруд, машин, спеціалізованого ремонтного обладнання, контрольно-вимірювальних приладів та інструментів.

На таких виробничих дільницях виконуються різноманітні технологічні операції із сервісу технологічного обладнання.

Наприклад: очистка і миття машин, змащування основних агрегатів, заміна технологічних рідин та ін.

Виробнича діяльність ремонтних підрозділів із відновлення працездатності обладнання отримання молока від дійних корів повинна підлягати громадській експертизі.

Виробництво проектного водонагрівача здійснюється в механічному цеху підприємства. Основні процеси, які використовуються для виробництва водонагрівача – різання металу, свердління та зварювання – здійснюється за допомогою спеціального технологічного обладнання у відповідності з нормативно-

технічною документацією. Цех оснащений припливно-витяжною вентиляцією, на якій встановлено спеціальні фільтри, проходячи через які повітря очищується від шкідливих домішок фізичного та хімічного походження (пил, дим та ін.). Металеві відходи виробництва вивозяться на пункти приймання металобрухту.

Проектований водонагрівач проточний електричний встановлюється в молокоприймальному відділенні ферми. Теплові скиди в навколишнє середовище від водонагрівача зведені до мінімуму шляхом використання сучасної теплової ізоляції – пінополіуретану – розрахованої товщини, яка забезпечує температури на поверхні водонагрівача не вище 25 °С. Водонагрівач не забруднює навколишнє середовище.

Гаряча вода, отримана у проектованому водонагрівачі, використовується на санітарно-технічні (миття технологічного, допоміжного обладнання та інвентарю для отримання молока) та санітарно-гігієнічні цілі і не забруднюється ніякими речовинами через використання матеріалів, які не піддаються хімічній і електрохімічній взаємодії з миючими, дезінфікуючими розчинами та водою.

Сам процес миття технологічного обладнання забруднює воду, що використовується під час миття, мийними та дезінфікуючими розчинами та жиром. Для упередження попадання жиру в каналізаційну мережу, яке може призвести до її закупорки, всі каналізаційні стоки від технологічного обладнання та трапів зливаються в шахту – жироловку, а вже звідти у відстояному вигляді потрапляють до каналізаційної мережі. Відстояний на поверхні стічних вод накопичений жир потребує відкачки і вивозу на окремі полігони чи виробництва для подальшої переробки, що потребує додаткових витрат.

Таким чином, розроблені заходи дозволяють уникнути забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, що дає підставу стверджувати, що проектований водонагрівач проточний електричний молокоприймального відділення продуктивністю 400 кг/год. успішно може пройти екологічну експертизу.

4.2 Охорона праці

Комплексна система заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях за умов здійснення виробничої діяльності у галузі виробництва технологічного обладнання – важлива складова складних проблем, рішення яких дасть можливість отримати безпечні умови проведення технологічних операцій робітниками механічного цеху.

В умовах сучасного виробництва технологічного обладнання в механічному цеху актуальними будуть заходи:

- системного покращення умов праці персоналу;
- широке впровадження та використання інноваційних засобів безпеки;
- аналіз, прогнозування та виключення причин виникнення виробничого травматизму;
- удосконалення на виробничих підрозділах умов гігієни, виробничої, побутової санітарії у відповідності з нормами і нормативними положеннями чинного законодавства.

Сучасні умови праці розглядаються як сукупність складних об'єктивних суспільних явищ. Вони формуються під час проходження процесів трудових операційних технологій та етапів.

Умови праці є системою взаємопов'язаних складових факторів соціально-економічних та виробничих відносин суспільства.

Такі умови безпосередньо мають значний вплив щодо здоров'я, працездатності працюючих людей, а також на якість виконуваної роботи та величину задоволення від такої роботи.

Від умов праці залежить економічна та соціальна її ефективність, а також інші виробничі показники.

Умови праці характеризують оціночні показники мікроклімату, ступінь наявності в робочих зонах шкідливих речовин та виробничих небезпек.

Соціальні аспекти умов праці впливають на психофізичний та естетичний рівень виробничих взаємовідносин та виробничої культури.

Система охорони праці в Україні постійно розвивається та вдосконалюється.

Стратегія розвитку такої системи направлена на заходи щодо постійного пошуку та реалізації механізмів з подальшого полегшення умов праці.

Така концепція досягається шляхом енергоощадної екологічно безпечної механізації, електрифікації та широкої автоматизації виробничих процесів, особливо за наявності шкідливих виробництв.

Також така концепція досягається за рахунок широкого застосування сучасних методів з охорони праці, механізмів із усунення причин породження виробничого травматизму та професійних захворювань працівників.

Останні твердження мають тісний прямий і зворотній зв'язок з умовами праці.

Кожен працівник виробництва, та, безперечно, працівник з вищою освітою рівня «бакалавр» повинен усвідомити актуальність і вагомість питань щодо зменшення ризиків травмування на виробництві та у повсякденному житті.

Сучасна Україна в науково-освітньому плані приєднана до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE.

Наслідком таких дій є постановка таких пріоритетних завдань розвитку нашої держави, як безпека життя та здоров'я громадян під час їхньої виробничої діяльності.

При цьому постійно створюються, контролюються та удосконалюються безпечні, по можливості екологічні нешкідливі умови праці.

Успішні досягнення в такому напрямку у значному обсязі залежать від професійного рівня підготовки майбутніх фахівців усіх спеціальностей та спеціалізацій з питань охорони та безпеки праці.

Аналіз механізмів травмонебезпечних ситуацій можливо провести за наступними ознаками:

- характеристики стану та рівня небезпек на обладнанні для різання, згинання, свердління та зварювання металоконструкцій на визначених робочих місцях,
- конструктивні недоліки складових вузлів чи агрегатів обладнання для різання, згинання, свердління та зварювання металоконструкцій;
- людський фактор із спонукання працюючих до допущення помилок під час виконання виробничих завдань;

- несанкціоновані проникнення працюючих у небезпечні зони конструкцій обладнання для різання, згинання, свердління та зварювання металоконструкцій по причині недостатнього рівня контролю за дотриманням правил з охорони праці.

Безпосередньо, виникнення травм на виробництві в механічному цеху необхідно розглядати як подію, що призвела до здійснення аварії.

Таке твердження розповсюджується на виробничий цех та складські приміщення, у яких підсистемами нижчого рівня одночасно являються машини (обладнання для різання, згинання, свердління та зварювання металоконструкцій) та робітники.

З метою запобігання виникнення не тільки аварій, але й небезпечних ситуацій, що до них можуть призвести у майбутньому, необхідно чітко дотримуватись правил, впроваджених в даному цеху, виробничих технологій з обов'язковим дотриманням заходів з охорони праці.

В механічному цеху встановлено сучасне і автоматизоване технологічне обладнання, яке повністю блокує несанкціоноване проникнення до працюючих обертових механізмів та робочих органів. Категорично забороняється примусово блокувати вузли і механізми блокування під час роботи на такому обладнанні.

4.2.1 Правила безпечної експлуатації проектного водонагрівача

До роботи на водонагрівачі проточному електричному молокоприймального відділення ферми продуктивністю 400 кг гарячої води за годину допускаються особи, які пройшли ввідний інструктаж з охорони праці, інструктаж з охорони праці на робочому місці, інструктаж по протипожежній безпеці та мають допуск відповідної медичної служби (дозвіл в санітарній книжці).

Перед початком роботи на водонагрівача необхідно:

- перевірити санітарний стан поверхонь водонагрівача;
- перевірити наявність та правильність встановлення елекментів конструкції водонагрівача (кришки, постаменту);
- перевірити наявність та надійність кріплення захисного заземлення

водонагрівача;

- відкрити кран на водопроводі подачі холодної води;
- за допомогою автоматичного вимикача на стіні поряд із водонагрівачем

подати напругу на водонагрівач;

- задати на терморегуляторі – термостаті цифровому W3230 -50~120С 220В АС за допомогою кнопок задати верхню і нижню межу температури гарячої води залежно від технологічних потреб;

- встановити необхідну ступінь потужності за допомогою клавіш потужності (повна, половина, $\frac{1}{4}$ потужності) залежно від запланованої витрати гарячої води;
- натисканням на кнопку «Пуск» включити водонагрівач в роботу».

Під час роботи водонагрівача:

- забороняється допускати до нього осіб, які не мають відповідного дозволу для роботи на ньому;

- примусово блокувати роботу реле протоку чи терморегулятора – термостату шляхом постійного натискання на кнопки;

- забороняється встановлювати верхню межу температури гарячої води вище 90 °С для попередження закипання води у водогрійному резервуарі.

Після закінчення роботи на водонагрівачі:

- за допомогою відтискування кнопки «Пуск» відключити водонагрівач від мережі;

- за допомогою автоматичного вимикача на стіні поряд із водонагрівачем вимкнути подачу напругу на водонагрівач;

- провести санітарну обробку поверхні водонагрівача шляхом протирання його поверхні вологою ганчіркі з миючим і дезінфікуючим розчином, а потім сухою ганчіркою.

4.2.2 Обслуговування водонагрівача

До обслуговування водонагрівача допускаються лише спеціалісти з обслуговування з відповідних організацій.

Обслуговування водонагрівача здійснюється відповідно до регламенту робіт і складається з капітального, планового ремонтів та технічного обслуговування.

Технічне обслуговування водонагрівача здійснюється з періодичністю 1 раз на місяць і включає в себе перевірку справності пускорегулювальної апаратури, справності вентиля подачі холодної води, перевірки надійності ущільнень, надійності контактів.

У випадку зниження продуктивності водонагрівача перевіряється опір спіралей кожного ТЕНа та наявність накипу на активній поверхні трубок ТЕНів.

У випадку наявності накипу на активній поверхні трубок ТЕНів проводиться комплекс робіт для її зняття, для чого:

- перевіряється заповнення водогрійного резервуара водою, після чого перекривається запірний кран на водопроводі подачі холодної води;

- водонагрівач від'єднується від трубопроводу розбору гарячої води, після чого через патрубок відводу гарячої води у водогрійний резервуар заливається рідина для зняття накипу на основі харчової кислоти (лимонної, оцтової);

- шляхом блокування роботи реле потоку подають напругу на ТЕНи та нагрівають воду до повного розчинення накипу у воді, після чого подачу напруги знімають;

- відкривають подачу холодної води і промивають водогрійний резервуар холодною водою, для чого побіля водонагрівача в підлозі повинен бути каналізаційний трап;

- водонагрівач приєднується до трубопроводу розбору гарячої води, перевіряється надійність з'єднання.

Плановий ремонт здійснюється з періодичністю 1 раз на 6 місяців і включає в себе заміну пускорегулювальної апаратури та ТЕНів які мають ознаки швидкого виходу з ладу, заміну ущільнюючих прокладок.

Капітальний ремонт здійснюється в спеціалізованій майстерні і включає заміну ТЕНів, пускорегулювальної апаратури, ущільнюючих прокладок, чистку водогрійного резервуара здійснюється за потреби.

4.3 Економічна частина

Сучасні електричні водонагрівачі є одними з самих енергоефективних видів технологічного обладнання. Нетехнологічні втрати тепла під час їх роботи не перевищують 4%. Проектований водонагрівач проточний електричний молокоприймального відділення ферми продуктивністю 400 кг гарячої води за годину має нетехнологічні втрати тепла на рівні 0,9%, чим вигідно відрізняється від прототипу і аналогів. Досягається це за рахунок високоефективної теплової ізоляції - пінополіуретану. Крім того, в конструкції проєктованого водонагрівача запропоновано використання ТЕНів прямої (без вигинів) будови, що вдвічі збільшує термін їх безаварійної експлуатації. Економічну ефективність від впровадження проєктованого водонагрівача, відповідно до вищезазначеного, можна оцінити за річною економією електроенергії та економією на капітальному ремонті водонагрівача через збільшений термін експлуатації ТЕНів.

4.3.1 Розрахунок економічного ефекту від економії електроенергії

Проектований водонагрівач має продуктивність 400 кг гарячої води з температурою 90 °C на годину. На фермі доїння корів здійснюється тричі на добу. Після кожного доїння корів необхідна санітарна обробка і миття технологічного обладнання та обладнання для його охолодження та короткотривалого зберігання після його вивозу. Крім того, гаряча вода необхідна для гігієни вим'я корів, а також для гігієни працівників ферми перед доїнням. Відповідно до цього, гаряча вода на фермі необхідна тричі на добу протягом 2-х годин, тобто загальна тривалість проєктованого водонагрівача складає щонайменше 6 год. Відповідно до цього, добова

потреба в гарячій воді складає не менше 2400 кг. Ферма працює 365 діб на рік. Річна потреба в гарячій воді складає $G_{\text{річна}} = 876000$ кг.

Різниця питомої витрати електроенергії проєктованого водонагрівача з прототипом – складає

$$\Delta E_{\text{пит}} = E_{\text{питОКСЕ 125 5 /2,2}} - E_{\text{проект.в.}} = 0,095 - 0,09392 = 0,00108 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$$

Річний економія електроенергії від впровадження проєктованого водонагрівача по відношенню до прототипу – водонагрівача ОКСЕ 125 5 /2,2 – за економією електроенергії складає

$$\Delta E = G_{\text{річна}} \cdot \Delta E_{\text{пит}} = 946,08 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість електроенергії для споживачів класу 2Б, за даними ТОВ «Полтаваенергозбут» на 01.05.2024 р. [20], складає 8,93 грн. та 1,75 грн. за 1 кВт·год. за доставку, тобто сумарно 10,68 грн. за 1 кВт·год.

Річний економічний ефект від впровадження проєктованого водонагрівача по відношенню до прототипу – водонагрівача ОКСЕ 125 5 /2,2 – складає

$$\Delta_{\text{ел.ен.}} = 946,08 \cdot 10,68 = 10104,13 \text{ грн.}$$

4.3.2 Розрахунок економічного ефекту від збільшення терміну служби ТЕНів

Через використання прямих ТЕНів термін їх безаварійної експлуатації збільшено вдвічі. За [21] термін безаварійної експлуатації ТЕНів повинен складати 5000 год.

За рік ТЕНи водонагрівача працюють $365 \cdot 6 = 2190$ год. Відповідно до [21] термін служби ТЕНів складає $5000/2190 = 2,3$ роки.

Термін служби прямих ТЕНів вдвічі більший, тобто складає 4,6 роки.

Вартість одного ТЕНа потужністю 3,3 кВт складає за [22] з доставкою 350,00 грн. Вартість 12 ТЕНів складає 4200,00 грн. Вартість робіт із їх заміни під час капітального ремонту складає на рівні вартості самих електронагрівачів, тобто 4200,00 грн. Сумарна вартість 12 ТЕНів з вартістю їх заміни складає 8400,00 грн.

Внаслідок використання прямих ТЕНів за 2,3 роки економить повна заміна ТЕНів, тобто 8400,00 грн.

Річна економія від впровадження проектного водонагрівача внаслідок використання прямих ТЕНів складе $\Delta_{\text{ТЕН}} = 3652,18$ грн.

4.3.3 Розрахунок сумарного економічного ефекту від впровадження проектного водонагрівача

Економічний ефект від впровадження проектного водонагрівача складається з економічного ефекту по економії відносно прототипу – водонагрівача ОКСЕ 125 5 /2,2 – електроенергії та економічного ефекту від впровадження прямих ТЕНів

$$\Delta_{\text{річний}} = \Delta_{\text{ел.ен.}} + \Delta_{\text{ТЕН}} = 10104,13 + 3652,18 = 13756,31 \text{ грн.}$$

4.4 Висновки за четвертим розділом

В результаті виконання розділу:

- розроблені необхідні заходи для проектного водонагрівача та його експлуатації для проходження екологічної експертизи проекту і його виробництва в цілому;

- розглянуті аспекти охорони праці під час експлуатації проектного водонагрівача та запропоновано комплекс заходів для упередження виробничого травматизму;

- проведено техніко-економічну оцінку результатів проектування;

встановлено, що річний економічний ефект від впровадження проектового водонагрівача відносно прототипу – водонагрівача ОКСЕ 125 5 /2,2 – складає 13756, 31 грн.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз існуючого електричного водогрійного обладнання дозволив встановити конструктивні схеми, будову і технічні характеристики типових водонагрівачів електричних безперервної і періодичної дії.

2. На основі даних аналізу ефективності використання існуючих типових водонагрівачів електричних безперервної та періодичної дії на основі питомих показників роботи обрано прототип – водонагрівач накопичувальний електричний ОКСЕ 125 5 /2,2.

3. На основі прототипу – водонагрівача накопичувального електричного ОКСЕ 125 5 /2,2 – розроблено принципову конструктивну схему проектного водонагрівача, яка відрізняється від прототипу використанням ТЕНів прямої конфігурації.

4. Проведено конструкторські розрахунки проектного водонагрівача з визначенням основних геометричних параметрів та маси елементів конструкції та водонагрівача в цілому, тепловтрат під час стаціонарного режиму роботи. Визначено необхідну споживану потужність водонагрівача, на основі якої проведено розрахунок геометричних параметрів та теплового режиму роботи ТЕНів. Виготовлено конструкторську документацію на проєктований водонагрівач.

5. Розроблено комплекс заходів для проведення екологічної експертизи проектного водонагрівача та забезпечення вимог охорони праці під час його виробництва та експлуатації.

6. Розраховано річний економічний ефект від впровадження спроектованого водонагрівача, який полягає в економії електричної енергії відносно прототипу і збільшення безаварійного терміну експлуатації прямих ТЕНів і складає 13756, 31 грн.