

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

кафедра Электроснабжение промышленных предприятий

**«Допущен к защите»**  
**Заведующий кафедрой ЭПП**  
Бакенов К.А., к.т.н., доцент  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)  
\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2014 г.**  
(подпись)

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

На тему: Электродный водонагреватель для системы электротеплообеспечения молочного блока коровника

Специальность 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства

Выполнил (а) Кабикенова А.К., ЭСХ – 10 – 01  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Барков В. И., д.т.н.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

**Консультанты:**

по экономической части: Парамонов С.Г., к.э.н., доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

**по безопасности жизнедеятельности:**

Мананбаева С.Е., старший преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Нормоконтролер: Мустагулова Б. Ж., ассистент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Рецензент: Алибек Н.Б., доктор PhD кафедры «Энергосбережение и автоматика» КазАУ  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Алматы 2014

# МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## Некоммерческое акционерное общество АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический  
Кафедра 5В081200 – Энергообеспечение сельского хозяйства  
Специальность Электроснабжение промышленных предприятий

### ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

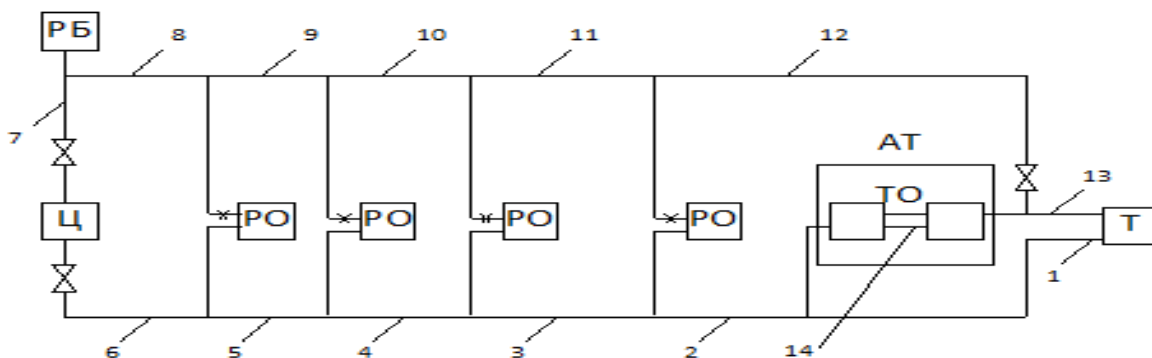
Студент Кабикенова Айнур Канаткызы  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Электродный водонагреватель для системы электротеплообеспечения молочного блока коровника

утверждена приказом ректора № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 \_\_ г.

Срок сдачи законченного проекта «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования и исходные данные объекта



На участке 2 отвод под 90°;  $d = 20$  мм;  $\varepsilon = 1$ ; два тройника на проход теплоносителя  $\xi = 2$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 3, тройник на противотоке  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 4, тройник на противотоке  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 5, тройник на противотоке  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 6, тройник на поворот теплоносителя  $\xi = 1,5$ , отвод под 90°;  $d = 20$  мм,  $\xi = 1$ , запорная арматура  $\xi = 0,5$ . половина водонагревателя (сопротивление на вход теплоносителя)  $\xi = 1,25$ ,  $\Sigma\xi = 4,25$ ;

На участке 7 половина котла  $\xi = 1,25$ , отвод под 90°;  $d = 20$  мм,  $\xi = 1$ , задвижка  $\xi = 0,5$ , тройник на противоток  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 5,75$ .

На участке 8 тройник на повороте  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ .

На участке 9 тройник на повороте  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ .  
 На участке 10 тройник на повороте  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ .  
 На участке 11 тройник на повороте  $\xi = 3$  и  $\xi = 2$ ,  $\Sigma\xi = 5$ .  
 На участке 12 тройник на повороте  $\xi = 3$  и  $\xi = 4$ ,  $\Sigma\xi = 7$ .  
 На участке 13 тройник на повороте  $\xi = 1,5$ , кран двойной регулировки  $d = 15$  мм,  $\xi = 4$ , половина радиатора  $\xi = 1$ ,  $\Sigma\xi = 6,5$ .

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе, или краткое содержание дипломного проекта:

- 1) Расход теплоносителя на расчетных участках системы
- 2) Скорость движения в трубопроводах
- 3) Удельные потери на трение
- 4) Общая потеря давления в трубопроводах
- 5) Потери давления в местных сопротивлениях

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1) 5В081200.14.ЭЭ.38.Э3 – Схема молочного блока, системы горячего водоснабжения и отопления
- 2) 5В081200.14.ЭЭ.38.Э6 – Электродный водонагреватель ЭПЗ - 100 И2 с дугообразными пластинчатыми электродами
- 3) 5В081200.14.ЭЭ.38.Э6 – ЭВН с гидравлическим способом регулирования мощности
- 4) 5В081200.14.ЭЭ.38.Э3 – ЭВН-25 с многоэлементными электродами, по поперечной схеме
- 5) 5В081200.14.ЭЭ.38.Э2 – Расчетная схема водяной двухтрубной системы отопления

Рекомендуемая основная литература:

1. Пырков В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика, 2005. – 302 с.
2. Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Барков В.И. Ресурсосберегающие системы и установки электрообеспечения в малом молочном животноводстве. Монография. – Алматы: ТОО «Нур – ДиАс» 2012. – 320 с.

Консультации по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
<i>Основной</i>	<i>Барков В. И., д.т.н.</i>		
<i>Экономической части</i>	<i>Парамонов С.Г., к.э.н., доцент</i>		
<i>Безопасности жизнедеятельности</i>	<i>Мананбаева С.Е., старший преподаватель</i>		

**График**  
**подготовки дипломного проекта**

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание

Дата выдачи задания «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Бакенов К.А.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Научный руководитель  
Проекта \_\_\_\_\_ Барков В.И.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к  
исполнению студент \_\_\_\_\_ Кабикенова А.К.  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

## **Андатпа**

Бұл дипломдық жобада сиыр қораның сүт шығырынын электр және жылу жүйесімен қамтасыз ету үшін электродты сужылытқыш таңдап алынған.

Жылумен жабдықтаудың конструктивтік сұлбасын әзірлеу үшін есептеулер жасалынған. Есептік жолмен коаксиалды электродтары бар 25 кВт электродты сужылытқыштың, жылулықтың шоғырлағышының және сүт шығырының жылу жүйесінің параметрлері анықталған болатын. Электродтардың «қос жұлдыз» қосу схемасын әзірленген болатын.

Сонымен қатар, экономика мен өміртіршілік қауіпсіздігі мәселелері қарастырылған.

## **Аннотация**

В данном дипломном проекте был выбран электродный водонагреватель для системы электротеплообеспечения молочного блока коровника.

Произведены расчеты для разработки конструктивной схемы теплоснабжения. Расчетным путем определены параметры следующего оборудования: водонагревателя мощностью 25 кВт с коаксиальными электродами, аккумулятора теплоты и системы отопления молочного блока. Разработана схема соединения электродов «двойная звезда». Составлена технологическая схема утилизации теплоты за счет использования теплоты молока и теплоты отработанной горячей воды.

Также рассмотрены вопросы экономики и безопасности жизнедеятельности.

## **Annotation**

In this diploma project was selected for the water heater electrode system elektroteploobespecheniya cowshed dairy unit.

Calculations are made for the development of a constructive scheme of heat supply. Calculated by the parameters of the heater 25 kW coaxial electrodes , options and parameters of the heat accumulator heating dairy unit. The scheme of connection of the electrodes " double star " by setting zero shielding electrodes on a separate water currents , isolated from the housing bushing . Compiled flowsheet heat recovery through the use of milk and heat waste heat hot water.

Moreover, consideration is given to aspects of economic research and safety at work places.

## Содержание

	Перечень сокращений и обозначений	6
	Введение	7
1	Состояние теплоснабжения в молочном животноводстве	9
1.1	Обзор систем электротеплоснабжения	12
2	Разработка конструктивной схемы теплоснабжения	17
2.1	Выбор конструкции электродного водонагревателя	20
2.2	Расчет водонагревателя с коаксиальными электродами	31
2.3	Описание конструкции ЭВН	34
2.4	Расчет сопротивлений выносу потенциала	38
2.5	Расчет аккумулятора теплоты для системы горячего водоснабжения молочного блока	47
2.6	Расчет системы отопления помещений молочного блока	52
2.7	Разработка энергосберегающей технологии электротеплоснабжения молочного блока	54
3	Расчет режимов работы системы горячего водоснабжения	58
4	Теплогидравлический расчет двухтрубной системы отопления	61
5	Экономическая часть	64
5.1	Расчет потребности фермы в тепловой энергии	64
5.2	Расход электроэнергии на силовые стационарные процессы животноводческой фермы	68
5.3	Построение графиков энергопотребления фермы	70
5.4	Расчет себестоимости отпуска	72
6	Безопасность жизнедеятельности	77
6.1	Анализ условий труда для персонала в помещении автоматического управления	77
6.2	Расчет естественного освещения	80
6.3	Расчет по обеспечению электробезопасности	83
	Заключение	87
	Список литературы	89
	Приложение А Построение графиков	91

## Перечень сокращений и обозначений

АТ – теплоаккумулятор;  
ВНИИЭТО – Всероссийский научно-исследовательский институт электротермического оборудования;  
ДГП ЦелинНИИМЭСХ – дочернее государственное предприятие Целиноградский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, нынешний КазНИИМЭСХ;  
КПД – коэффициент полезного действия;  
КНИИЭ – Казахский научно-исследовательский институт энергетики;  
МТФ – молочно-товарная ферма;  
Н – циркуляционный насос;  
СЭТ – децентрализованная система электротеплообеспечения;  
ТЭР – топливно-энергетические ресурсы;  
ТО – теплообменник;  
ТОУ – теплообменник-утилизатор;  
ТТ – технологический трубопровод;  
СЭТ – децентрализованная система электротеплообеспечения;  
ЭВН – электродный водонагреватель.

## Введение

В послании Президента республики «Казахстан – 2030» указывается, что в числе одного из приоритетных направлений развития рыночной экономики является интенсификация сельского хозяйства. Стратегия развития энергетики АПК ставит важную проблему снижения энергоемкости производства продукции молочного животноводства. Для этого, в частности, необходимо решить ряд научно-технических задач по техническому переоснащению систем электротеплообеспечения МТФ на базе нового конкурентоспособного теплогенерирующего электрооборудования.

В технологических процессах сельскохозяйственного производства, особенно животноводства, большая роль отводится тепловой энергии. Потребление тепла в них составляет до 70% от общего потребления энергии в животноводстве. Специфика АПК, благодаря локальному, компактному расположению технологического оборудования, низкой плотности нагрузок и невысокому годовому числу часов использования техники, способствует дальнейшему расширению масштабов и областей применения теплогенерирующих установок. Поэтому повышение их эффективности рассматривается как важный фактор повышения эффективности всей отрасли.

Анализ опыта разработки и эксплуатации систем теплообеспечения показывает, что в них используются различные энергоносители: электроэнергия, жидкое топливо, природный газ, твердое топливо, возобновляемые источники энергии. Это привело к появлению разработок альтернативных вариантов генераторов теплоты, в частности, электродных водонагревателей, котлов на жидком топливе, газе и угле, которые характеризуются значительным количеством типоразмеров оборудования и систем управления, это привело к снижению их эффективности вследствие номенклатурной избыточности, устаревшей элементной и конструктивной базы и неоправданной конкуренции между ними.

Задачи конструирования и оптимизации решались с использованием частных критериев эффективности, что позволяло найти какую-либо допустимую систему теплообеспечения, удовлетворяющую совокупности исходных данных и ограничений, зачастую весьма далекую от оптимальной. Особенно ярко это отразилось на технических решениях генераторов теплоты для этих систем, что привело к снижению их к.п.д., эксплуатационной надежности и срока службы.

В частности, многие типы электродных водонагревателей для систем электротеплообеспечения, разработанные в 70-е годы XX века, продолжают выпускаться без модернизации с устаревшими конструкциями электродных систем, в которых возникает неравномерное распределение плотности тока, и неэффективными способами защиты от выноса потенциала на технологическое оборудование, что, в итоге, снижает их



конкурентоспособность на рынке теплового оборудования. Следовательно, назрела необходимость в разработке электродных водонагревателей нового поколения с оптимальными параметрами и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Вследствие многократных преобразований электроэнергии коэффициент полезного использования энергоресурсов в электротепловых установках ниже, чем в топливных. Необоснованный перевод тепловых процессов на электроэнергию может привести к значительному перерасходу энергоресурсов. Применение электродного нагрева экономически оправдывается, если повышенный расход энергоресурсов компенсируется экономией на других статьях расходов при существенном улучшении технологии процессов, увеличении продуктивности животных, качества продукции, снижении затрат труда и т.п.

Вместе с тем излишняя осторожность с применением электронагрева тормозит технический прогресс в сельском хозяйстве, снижает уровень электровооруженности труда и эффективность электрификации.

Возросшие требования к теплогенерирующему оборудованию, сложность и многообразие технологических процессов и технических средств требуют создания эффективных систем электротеплообеспечения, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик технологических линий по производству молока.

## 1 Состояние теплоснабжения в молочном животноводстве

В Казахстане структура потребления энергоресурсов на цели теплообеспечения характеризуется широким использованием твердого топлива (48,5%) и электроэнергии (41,3%) показано в таблице 1.

Таблица 1 – Структура расходуемых на производственные нужды топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве республики

Наименование	Ед. изм.	Величина	
		2009 год	2011 год
Электроэнергия	тыс. кВт·ч	436739,5	607485,5
Теплоэнергия	тыс. Гкал	2780637,2	036687,8
Уголь каменный	т	398270	398679
Лигнит (бурый уголь)	т	1271	624
Природный газ	тыс. куб.м	13442,1	12651,9
Нефтяной газ попутный	тыс. куб.м	415	1721
Опилки и отходы древесные	т	172	552
Бензин авиационный	т	130	154
Бензин моторный	т	61093	55837
Керосин	т	1824	2412
Газойли (топливо дизельное)	т	435698	462209
Мазут топочный	т	382	1989
Топливо древесное	куб.м. плот	17005	10944
Топливо печное бытовое	т	379	1885
Пропан и бутан сжиженные	т	3259	7001
Битумы нефтяной и сланцевый	т	94	13

Количественные и качественные изменения в ведении сельхозпроизводства определенно коррелируются с уровнем потребления электроэнергии на производственные нужды от централизованных источников, который составлял в 2002 г – 668,9 млн. кВт·ч, в 2004 г – 705 млн. кВт·ч, в 2006 г – 876,5 млн. кВт·ч, 2009 г – 436,7 млн. кВт ч, 2011 г – 607,4 млн. кВт·ч, 2012 г - 695 млн. кВт·ч. Потребление электроэнергии возросло на 28%.

Определение общих потребностей сельского хозяйства в различных видах энергии дает возможность выбора рациональных путей энергоснабжения. До недавнего времени проблема энергоснабжения сельского хозяйства рассматривалась и решалась отдельно для каждого вида энергоносителей. Особенно ярко это проявлялось при решении вопросов теплоснабжения при взаимозаменяемости различных ТЭР – электроэнергии, угля, жидкого топлива и газа. Проведенные в КазНИИЭ расчеты для условий

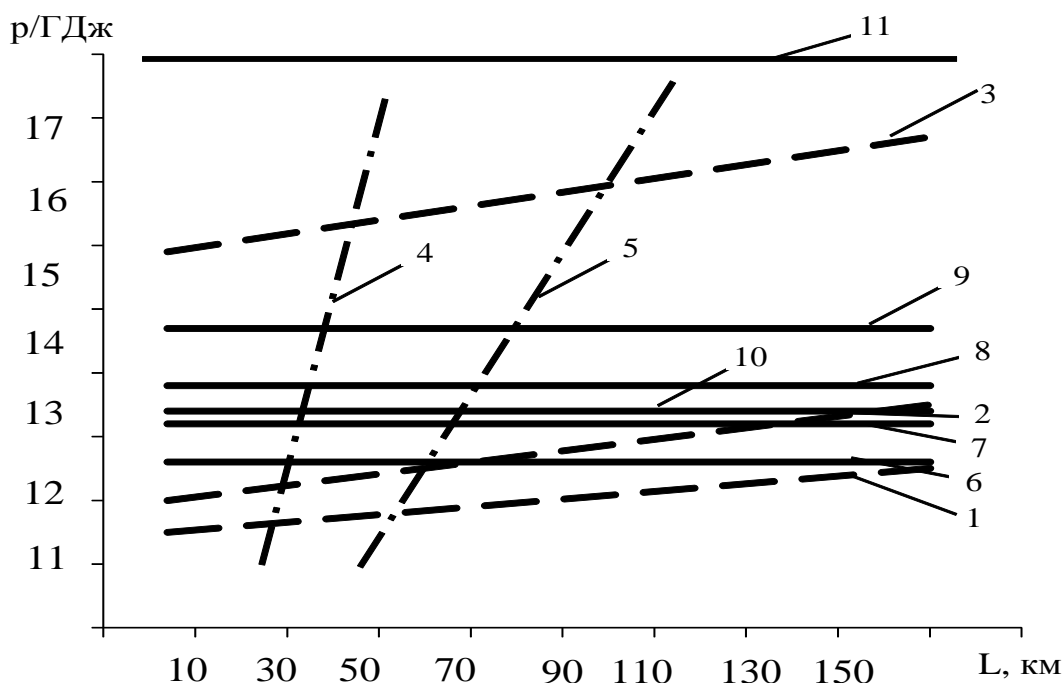
южной зоны Казахстана показали, что удельные приведенные затраты на получение единицы тепловой энергии в зависимости от вида энергоносителей, масштабов потребления и способа теплоснабжения, изменяются в широких пределах: от 11 до 18 р/ГДж или в 1,6 раза.

При использовании твердого топлива в системах теплоснабжения от котельных, производительностью 0,4...8 ГДж/ч, удельные стоимостные показатели в зависимости от годового числа часов использования установленной мощности котельных и расстояния перевозки топлива, колеблются в пределах от 11 до 17 р/ГДж, т.е. в 1,5 раза.

При покрытии потребности в теплоте на базе природного газа, удельные показатели зависят от удаленности объектов от магистрального газопровода и объемов расхода газа и составили 6,7...24 р/ГДж.

Зависимости удельных приведенных затрат в систему теплоснабжения от дальности транспортировки при использовании угля, природного газа и электроэнергии показаны на рисунке 1.

На рисунке 1 показаны 1; 2; 3 – центральная котельная на твердом топливе с производительностью, соответственно, 4,5...8; 2...3 и 0,5...1 ГДж/ч; 4; 5 – котельная на природном газе с расходом, соответственно, 1,3 и 2,3 млн.м<sup>3</sup>; 6 – внепиковое электротеплоснабжение; 7; 8 – комбинированное ЭТС при отопительно-вентиляционной нагрузке, соответственно, менее и более 50% от объема теплотребления; 9 – базисное ЭТС (автономные установки); 10 – внепиковое ЭТС (электрокотельная с аккумуляцией); 11 – базисное ЭТС (электрокотельная).



При использовании твердого топлива (1,2,3); природного газа (4,5) и электроэнергии (6-11).

Рисунок 1 – Удельные приведенные затраты в системы теплоснабжения для южной зоны Казахстана

Эффективность электротеплоснабжения зависит от типа системы (электрокотельная или автономная система), объема теплотребления и максимума тепловой нагрузки, от специализации животноводческих ферм, от производительности теплогенерирующего оборудования, коэффициента его загрузки и от степени использования базисной и внепиковой электроэнергии.

При базисном ЭТС в случае установки у потребителя автономного электротеплового оборудования (линия 9) или центральной электрокотельной (линия 11) по сравнению с теплоснабжением от котельных на твердом топливе (линии 1 и 2) при максимальном часовом расходе теплоты 3,2...8 ГДж/ч видно, что в варианте ЭТС удельные затраты на единицу топлива выше на 25...12% при автономном оборудовании, а при электрокотельной – на 50...30%.

Вариант внепикового ЭТС (линия 6) для небольших животноводческих ферм с нагрузкой 0,6-1,2 ГДж/ч уже не уступает по экономичности котельным на твердом топливе (линии 1 и 1), а при дальности транспортировки более 80 км становится более эффективным.

На крупных животноводческих комплексах используется комбинированное ЭТС, при котором для покрытия отопительно-вентиляционной нагрузки применяют базисное ЭТС, а для технологических процессов – внепиковое ЭТС (линии 7 и 8). В случае преобладающего удельного веса отопительно-вентиляционной нагрузки (линия 8) комбинированное ЭТС уступает котельным на твердом топливе (линии 1 и 2), а при удельном весе менее 50% от объема теплотребления – опережает (линия 7).

Для ферм с максимальным расходом теплоты менее 2 ГДж/ч эффективно как автономное базисное ЭТС (линия 9), так и внепиковое ЭТС (линии 6 и 10 – котельные с аккумуляцией) по сравнению с центральной системой (линия 3).

Как показывает анализ данных на рисунке 1.1 внепиковое ЭТС наиболее эффективно в большинстве случаев, уступая только варианту с природным газом при расстоянии от магистрального газопровода не более 20...30 км.

Исследования КазНИИЭ определили возможности отпуска внепиковой электроэнергии энергосистемами республики для нужд сельского хозяйства в объеме до 3000 млн. кВт·ч за счет ночного «провала» графиков нагрузок [2].

Анализ статистических данных за 2004 год позволил определить структуру крестьянских (фермерских) хозяйств по наличию КРС: до 10 голов – 6508; до 50 голов – 6193; до 100 голов – 990; до 300 голов – 385; до 500 голов – 6193; до 1000 голов – 23 и свыше 1000 голов – 14.

В ДПП «ЦелинНИИМЭСХ» обоснованы оптимальные технические типоразмеры молочных хозяйств: 10; 25; 50 и 400 голов. В основу разработок положены соотношения между поголовьем скота, производительностью труда и эксплуатационными затратами при использовании вариантов с ручным трудом.

## 1.1 Обзор систем электротеплоснабжения

Вода, благодаря своим термодинамическим характеристикам, широко применяется в технологических процессах на животноводческих фермах в качестве технологической массы (кормоприготовление, поение, санобработка инвентаря, помещений и животных, на бытовые и гигиенические нужды персонала), в качестве теплоносителя (системы горячего водоснабжения и отопления) и в качестве аккумулятора тепловой энергии.

В зависимости от степени концентрации теплогенерирующего оборудования применяются следующие варианты автономных систем электротеплоснабжения (СЭТ):

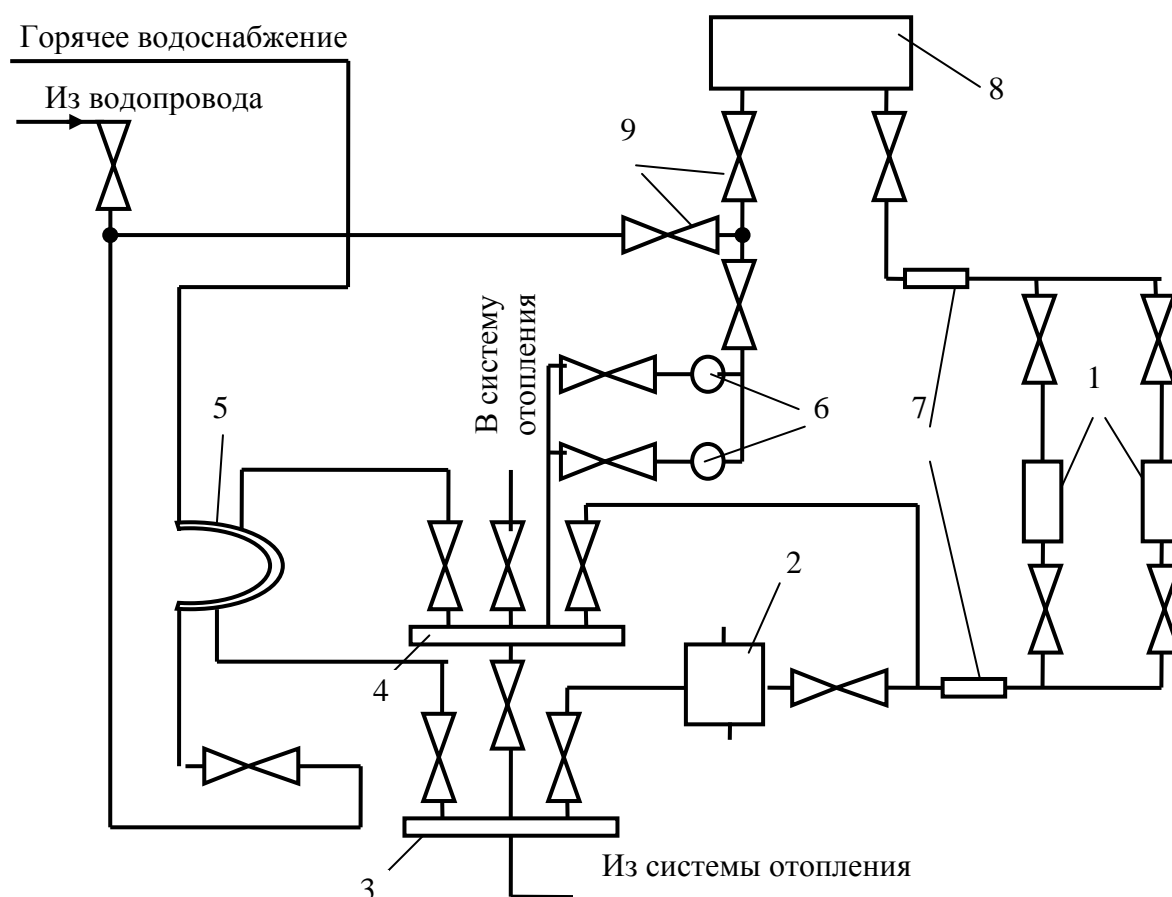
1) СЭТ для крупных объектов (ферма, комплекс) – комплектная электрокотельная с аккумулярованием теплоты и транспортированием горячей воды по трубопроводам к объектам фермы и далее к технологическому оборудованию;

2) СЭТ для отдельных зданий, объектов - электродные водонагреватели с аккумуляторами теплоты и подачей горячей воды к технологическому оборудованию по внутренним тепловым сетям;

3) СЭТ для отдельных помещений, тепловых технологических процессов, оборудования или точек разбора – это специализированные электротепловые установки для нагрева воды и воздуха, получения пара и отопления.

Для создания СЭТ для крупных объектов широко применялись электрокотельные на базе электрокотлов ЭПЗ-100 и КЭВ-175. Завод СТЭМИ Братскгэсстроя выпускал комплектные электрокотельные с низковольтными котлами КЭВ-63 [3]. Она состоит из двух электрокотлов мощностью 63 кВт, максимальная и минимальная теплопроизводительность – 108000 и 27000 ккал/ч, температура теплоносителя – 70...95°C (для отопления) и 60...75°C (для горячего водоснабжения), масса – 900 кг, удельное сопротивление воды 1...170 Ом.м. Кроме того, котельная оборудована двумя циркуляционными системами 1,5 К-6, шкафом управления и автоматики, системой трубопроводов. Исследования электрокотельных для животноводческих ферм, проведенные во ВНИИМЖ, показали, что по сравнению с топливными котельными они имеют высокую надежность и безопасность, работают в автоматическом режиме, значительно снижаются затраты труда на обслуживание (с 4,1 чел-смен в сутки до 0,1 чел.-смены в сутки).

Принципиальная теплотехническая схема СЭТ на базе комплектной электрокотельной показана на рисунке 1.1.



- 1 – электродные котлы; 2 – грязевик; 3, 4 – коллекторы холодной и горячей воды;  
 5 – скоростной водонагреватель; 6 – циркуляционные насосы;  
 7 – изолирующие вставки; 8 – аккумулирующая емкость; 9 – запорные вентили.

Рисунок 1.1 – Принципиальная схема СЭТ для крупных объектов на базе комплектной электродкотельной

На основе исследований разработаны технические требования к СЭТ на базе комплектных электродкотельных для ферм КРС от 100 до 400 голов: теплопроизводительность до 350 кВт·ч (до 300 Мкал/ч), интервал ступенчатого регулирования мощности – 35 кВт (30 Мкал/ч); оптимальный диапазон значений удельного сопротивления воды 20...40 Ом·м, температура воды на входе и выходе отопительной системы – 95 и 75<sup>0</sup>С; давление сетевого насоса – 0,6 МПа (6 кг/см<sup>2</sup>); объем теплоаккумулятора при использовании насоса внепиковой электроэнергии для горячего водоснабжения – 10...20 м<sup>3</sup>, а для установок микроклимата – 30...50 м<sup>3</sup>, длительность непрерывной эксплуатации электродкотлов без чистки электродов – один отопительный сезон, работа электродкотлов – только в замкнутой схеме без разбора воды из первичного контура.

Электробезопасность обеспечивается при наличии нулевого провода во всех неполнофазных режимах. При обрыве нулевого провода и при отсутствии напряжения в одной или двух фазах на корпусе котла возникает

напряжение 40...80 В.

Для электродных котлов заводом СТЭМИ (Россия) созданы электродные водогрейные котлы КЭВ, которые выпускаются унифицированной серией мощностью 40, 63, 100, 160, 250 и 400 кВт [8]. АО «Станкоремонтный завод «Пятигорский» выпускает электродные котлы ЭПЗ серии ИЗ, мощностью 100, 250, 400 кВт.

Тепловая нагрузка фермы на 400 голов при расчетной температуре воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  составляет: вентиляция коровников 230 тыс. ккал/ч (286 кВт), отопление производственных помещений на 20 тыс. ккал/ч (23,2 кВт) и горячее водоснабжение – 45 тыс. ккал/ч (52,8 кВт), требуемая мощность котельной – 721 кВт. В схеме управления предусмотрено 4 режима аккумулирования.

Принципиальная схема СЭТ для отдельных зданий на базе электродных водонагревателей (ЭВН) с теплоаккумуляторами показана на рисунке 1.2.

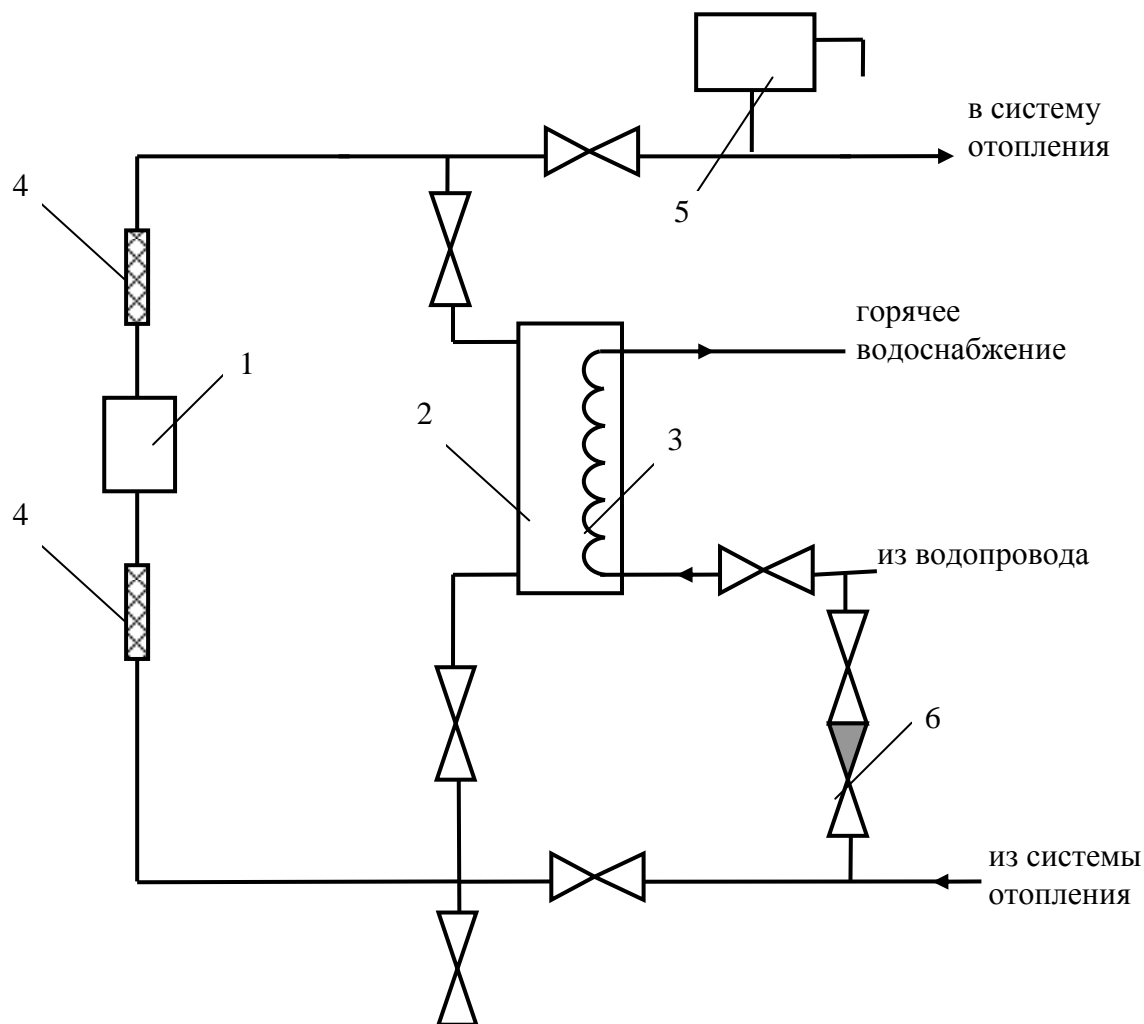
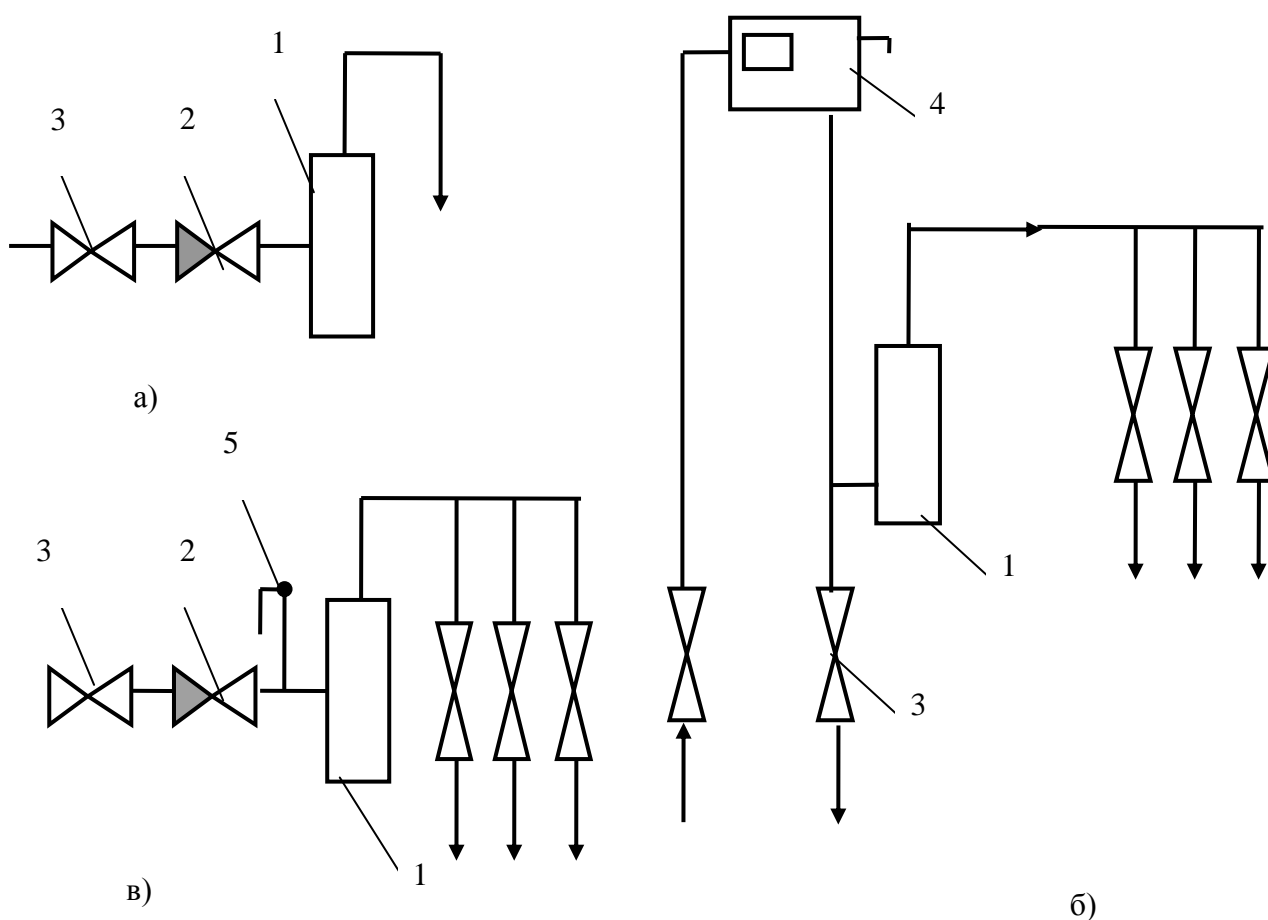


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема СЭТ для отдельных зданий на базе электродных котлов с теплоаккумулятором

На рисунке 1.2 показаны:

- 1 – электродный котел;
- 2 – теплоаккумулятор;
- 3 – теплообменник;
- 4 – изолирующие вставки;
- 5 – расширительный бак;
- 6 – обратный клапан.

Принципиальные схемы СЭТ для отдельных помещений на базе проточных или аккумуляционных электроводонагревателей показаны на рисунке 1.3.



- а – разбор в одной точке; б, в – разбор в нескольких точках без давления и с давлением; 1 – электродкотел; 2 – обратный клапан; 3 – вентиль; 4 – расширительный бак с клапаном и переливом; 5 – предохранительный клапан.

Рисунок 1.3 – Принципиальная схема СЭТ для отдельных помещений или процессов

Для этих систем применяются элементные электроводонагреватели типов УАП; САОС; САЗС; ВЭТ (Россия) или проточные типа АИ-03 (Россия), ЭВ-2/4 (Казахстан, КазНИИМЭСХ), ЭПЗ-3И1 (Россия). При разборе воды из одной точки используется схема на рисунке 1.3 а, а при разборе воды в нескольких точках при атмосферном давлении рекомендуется схема с



расширительным баком на рисунке 1.3 б, а при высоком давлении – схема на рисунке 1.3 в.

Элементные электроводонагреватели аккумуляционного типа серии ВЭТ и УАП выпускаются объединением «Татсельхозтехника» (Россия), вместимостью 400, 800 и 1600 литров горячей воды с температурой 90°С и мощностью 12, 16,5 и 30 кВт. МКБ «Радуга» (Россия) изготавливает электроводонагреватели серии ЭВАД на 100, 200 и 400 л с ТЭНами, мощностью 1,25 и 4,6 кВт.

Фирма «Келет» (Казахстан) разработала элементные водонагреватели мощностью от 3 до 96 кВт, в которых установлены ТЭНы российского производства номинальной мощностью 1,6-12 кВт.

Завод отопительного оборудования (Казахстан, г.Алматы) выпускает элементные водонагреватели «Алатау» мощностью от 3 до 27 кВт с ТЭНами типа «Аристон» производства Турции или Китая.

К недостаткам элементных водонагревателей можно отнести следующее:

- низкий срок службы – не более 2000 часов, что увеличивает затраты на замену и техническое обслуживание;
- допустимая удельная нагрузка – не более 10 Вт/см<sup>2</sup>;
- значительное снижение основных характеристик при образовании слоя накипи на поверхности: к.п.д. снижается с 88% до 82% при работе на мягкой воде и до 68% - на жесткой воде, коэффициент теплоотдачи снижается в течение 5-6 месяцев с 1 до 0,3 Вт/м<sup>2</sup> °С;
- появление опасных потенциалов на корпусе в случае пробоя изоляции.

## 2 Разработка конструктивной схемы теплоснабжения

Результаты расчета потребной мощности системы горячего водоснабжения, вместимости аккумулятора теплоты при частичном и полном (ночном) режиме зарядки для МТФ показаны в таблице 2.1.

Основной составляющей энергозатрат в ДМБ являются процессы горячего водоснабжения и отопления производственных помещений. Затраты на создание микроклимата целесообразны только на крупных фермах и комплексах.

Расход горячей воды и электроэнергии во многом зависит от типоразмера фермерского хозяйства и уровня механизации основных процессов (таблица 2.1) [3-6].

Расчеты показали, что расход горячей воды в сутки на 1 голову колеблется от 5...11 л в небольших хозяйствах до 17...21 л на фермах и комплексах КРС.

При внепиковом электротеплоснабжении вместимость теплоаккумулятора для ночной зарядки составляет 3900 л, при частичном аккумулировании в ночные и дневные часы провала графика электрических нагрузок вместимость теплоаккумулятора для одного доения должна быть 1300 л (1,3 м<sup>3</sup>). Суточный расход электроэнергии составляет 351 кВт·ч/сутки.

Таблица 2.1 – Суточный расход горячей воды и электрической энергии в тепловых процессах на МТФ с комплексной механизацией технологических процессов

Технологический процесс (операция)	Суточный расход воды, л/гол.	Температура воды, °С	МТФ на 200 гол. с комплексной механизацией технологических процессов
1	2	3	4
Подмыв вымени	3	40	600/300
Мытье доильных ведер	0,3	70	-
Мытье фляг	1,66	70	332
Мытье контрольных фляг	0,93	50	186/124
Ополаскивание и промывка доильных аппаратов	5,34	60	1070/890
Промывка молокопроводов	4,4	80	880
Промывка доильного оборудования труб молочной	1,5	70	66
Мытье молочных танков	3	80	600
Мытье пастеризатора	0,5	80	100
Мытье сепаратора	0,2	80	-
Промывка молочной автоцистерны	0,55	70	110
Всего на доение, л/сут.	-	70	3542/3402
Ветсанмероприятия	5	40	1000/500

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4
Вместимость теплоаккумулятора при частичном аккумулировании			1300
Вместимость теплоаккумулятора при ночной зарядке			3900
Расход электроэнергии, кВт·ч/сутки			351
Мощность ЭВН, кВт			40/60
* - в числителе расход горячей воды с заданной температурой; - в знаменателе – расход горячей воды с температурой 70 <sup>0</sup> .			

АТ должен быть снабжен надежной теплоизоляцией для работы в режиме аккумулирования тепла. Теплоизоляция должна обеспечивать скорость естественного охлаждения воды в АТ не более 1°С в час.

Бойлер с температурой греющего теплоносителя (воды) на входе в теплообменник  $t'_1 = 98 + 100^\circ\text{C}$ , что дает возможность применять в качестве генератора тепловой энергии электродные водонагреватели, в нашем варианте – электродный водонагреватель.

Контуры греющего и нагреваемого теплоносителей разделены, что обеспечивает возможность получения питьевой воды во вторичном корпусе АТ. Теплообменник бойлера должен изготавливаться из стальных трубок, что делает его дешевым и технологичным в изготовлении. Разность температур между стенками трубок теплообменника и водой должна быть не менее 15°С, что обуславливает появление турбулентного движения, интенсифицирующего теплообмен.

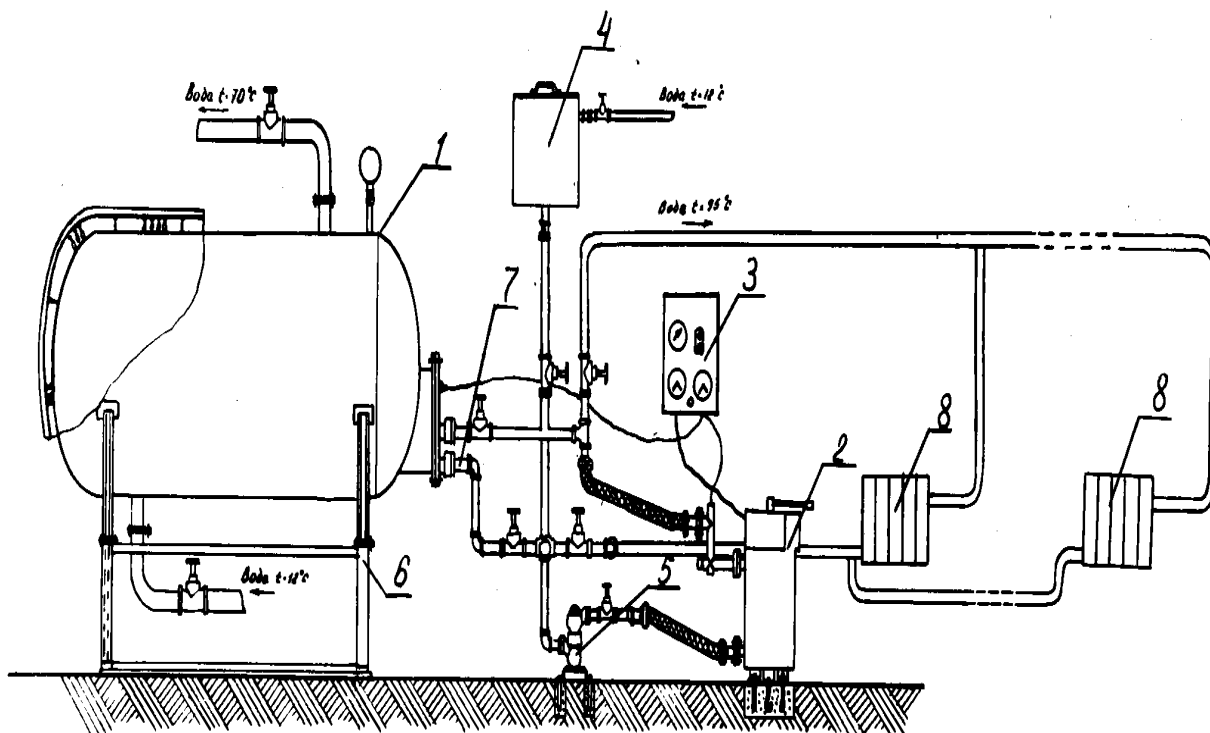
Вода в АТ должна нагреваться до 65...70°С за время до 6 часов при работе ЭВН только на нагрев АТ и до 8 часов при работе ЭВН на АТ и систему отопления.

В целях унификации оборудования, приборов и материалов, следует принимать в системах отопления единый теплоноситель, в нашем случае – воду. Исходя из СНиП-36-73 для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и, если возможно, для технологических целей в качестве теплоносителя должна использоваться вода.

Вышесказанное позволяет обоснованно выбрать децентрализованную систему водяного отопления производственных помещений при температуре воды до 95°С и двухтрубную схему водяной системы отопления с принудительной циркуляцией и с верхней разводкой.

В системе отопления для создания принудительной циркуляции необходимо установить циркуляционный насос типа «GREENPRO RS25/4G».

Анализ конструкций и работы систем электротеплоснабжения позволил разработать следующую компоновочную схему комплекта оборудования – электродный водонагреватель ЭВН 2, аккумулятор теплоты АТ 1, система отопления помещений и шкаф управления 3, в котором предусмотрены зимний, летний, принудительный и свободный режимы работы (рисунок 2.1).



1 – аккумулятор теплоты; 2 – электродный водонагреватель; 3 – шкаф управления и автоматики; 4 – расширительный бак; 5 – циркуляционный насос; 6 – подставка; 7 – трубопроводы подачи и разбора горячей воды; 8 – радиаторы системы отопления помещений.

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема системы теплоснабжения технологических процессов молочного блока

Анализ проектных данных показал, что объем помещений доильно-молочного блока не превышает  $300 \text{ м}^3$ , следовательно, система отопления должна обеспечивать обогрев помещений такого объема и поддержание к ним требуемых параметров микроклимата.

В системе отопления должна быть предусмотрена возможность подключения ее к ЭВН в зимний период и отключения в летний.

Общетехнические требования, предъявляемые к оборудованию: простота и надежность, полная автоматизация, дешевизна и экономичность, электробезопасность и пожаробезопасность, минимум тепловых потерь, высокий к.п.д., возможность ремонта в условиях хозяйств, необходимость аккумулирования тепла и использования внепиковой электроэнергии.

Техническая характеристика:

Номинальная мощность теплового модуля ЭВН	25 кВт
Номинальное напряжение	380/220 В
Удельное сопротивление воды	30 Ом·м
Рабочий объем аккумулятора теплоты	1000 л.
Расчетное давление	250 кПа

Температура воды в аккумуляторе	
начальная	12±2°C
конечная	70±2°C
Время нагрева воды до 70°C	5 ч.
Суточная производительность	
свободный режим	4000 л.
принудительный режим	2000 л.

## 2.1 Выбор конструкции электродного водонагревателя

В сельском хозяйстве, начиная с 70-х годов прошлого века, использовалось большое количество электродных водонагревателей серии ЭПЗ, разработанных ВНИИЭТО, которые выпускались Пятигорским заводом до 15 тыс. штук в год. В них использовались цилиндрические и дугообразные пластинчатые электроды, регулирование мощности осуществляется диэлектрическими экранами, антиэлектродами и промежуточными пассивными электродами.

Водонагреватели модификаций ЭПЗ-25 И2 и ЭПЗ-100И2 предназначены специально для сельского хозяйства. Они отличаются увеличенным более чем в 2 раза межэлектродным расстоянием между дугообразными электродами, направлением потока нагреваемой воды через тепловыделяющие зоны и регулированием мощности в большом диапазоне от 25 до 100% номинального значения. На рисунке 2.1 показан электродный водонагреватель ЭПЗ – 100 И2 с дугообразными пластинчатыми электродами, разработанный в ВНИИЭТО для условий сельского хозяйства.

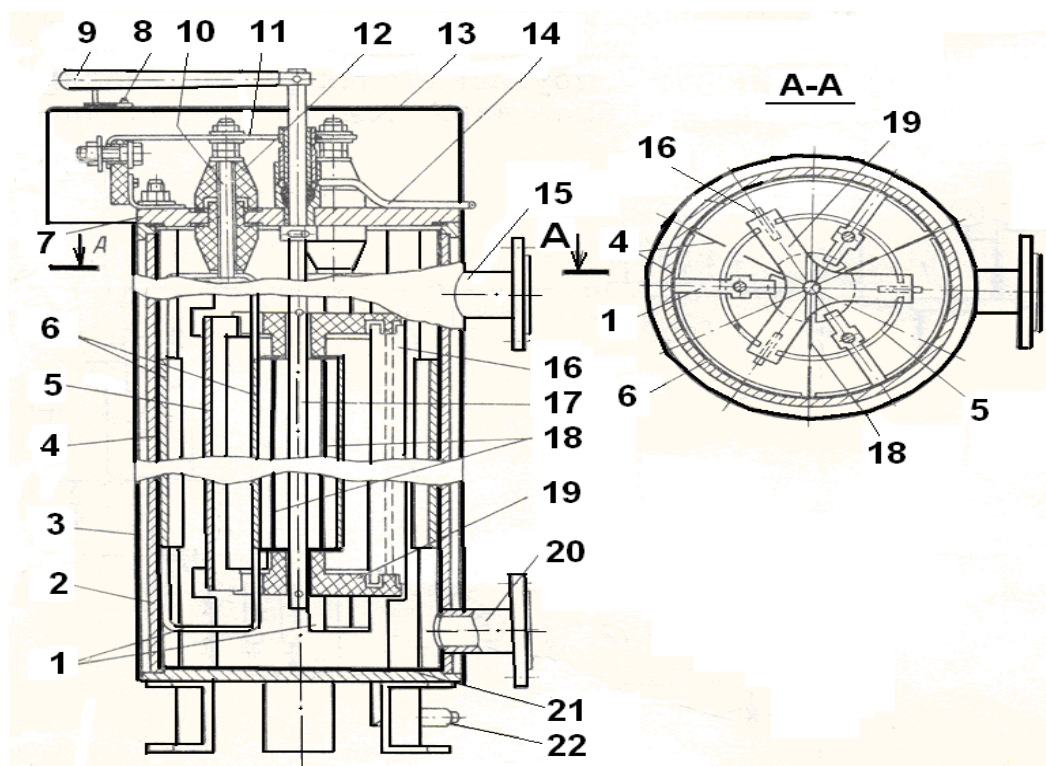
Водонагреватели ЭПЗ-100 И3; ЭПЗ-250 И3 и ЭПЗ-400 И3 имеют полностью автоматизированное электромеханическое регулирование мощности в соответствии с заданным графиком отпуска теплоты. Во ВНИИЭТО были также созданы водонагреватели серии КЭВЗ, мощностью 250, 400, 1000 кВт.

Следующая разработка ВНИЭТО – это электроводонагреватели серии КЭВ-0,4 мощностью 40, 63, 100, 160, 250, 400 и 1000 кВт, которые изготавливаются в двух исполнениях: с пластинчатыми и цилиндрическими электродами. Водонагреватель с пластинчатыми электродами предназначен для применения в условиях, когда удельное сопротивление воды выше 10 Ом·м (рисунок 2.2 а).

Для воды с удельным сопротивлением до 10 Ом·м используется водонагреватель с цилиндрическими электродами в количестве 3 или 6, в зависимости от мощности, установленными коаксиально внутри антиэлектродов (рисунок 2.2 б).

Мощность в диапазоне 25...100% регулируется перемещением пакета диэлектрических пластин или фторопластовых труб в межэлектродном

пространстве. Электродная на основе водонагревателей КЭВ мощностью 63...100 кВт состоит из котла, панели управления, циркуляционного насоса и соединительной арматуры [8].



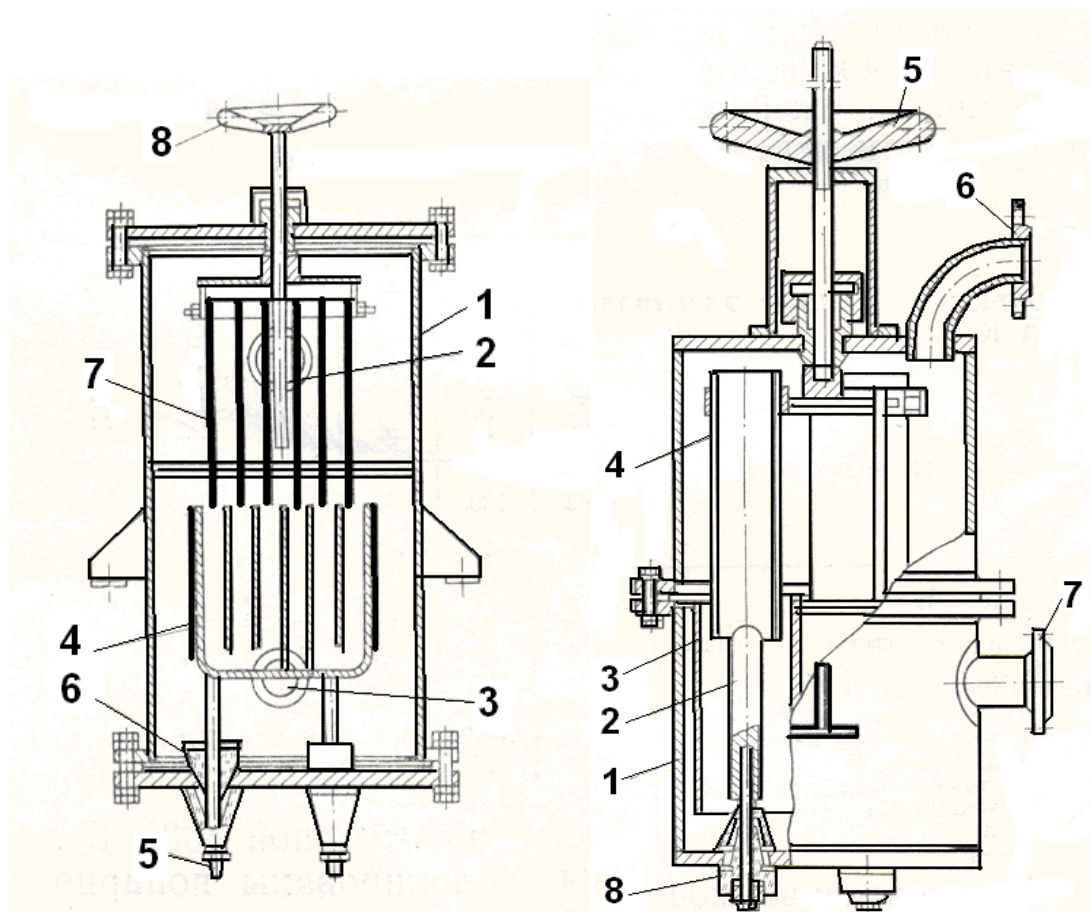
- 1 – скобы; 2 – корпус; 3 – кожух; 4 – изоляционный экран наружный;  
 5 – регулирующий электрод; 6 – фазные электроды; 7 – крышка; 8 – шкала;  
 9 – ручка; 10 – токоввод; 11 – шины; 12 – изолятор; 13 – кожух токовводов;  
 14 – дренаж; 15 – отвод воды; 16 – изоляционная пластина; 17 – поворотная ось;  
 18 – изоляционный экран внутренний; 19 – траверса; 20 – подвод воды;  
 21 – изолятор днища; 22 – дренаж.

Рисунок 2.1 – Электродный водонагреватель ЭПЗ – 100 И2 с дугообразными пластинчатыми электродами, разработанный в ВНИИЭТО для условий сельского хозяйства

Для получения большей мощности водонагреватели спаривают, например, электроводонагреватель типа ОДПР состоит из двух водонагревателей КЭВ, общей мощностью 175 кВт, в каждом из которых смонтировано по 6 цилиндрических электродов. Регулирование мощности производится электрическим способом – переключением электродов в различные трехфазные группы, предусмотрено 9 ступеней мощности (21, 40, 50, 61, 71, 80, 90, 100%). Рассчитан для работы на воде с высоким удельным сопротивлением – 55 Ом·м.

Применение электромеханического способа регулирования мощности с исполнительным механизмом для поворота электродной группы влечет за собой необходимость разработки отдельного шкафа управления, стоимость

которого в настоящее время соизмерима со стоимостью самого ЭВН. Недостаточная надежность автоматики снижает эксплуатационные показатели и ремонтпригодность в условиях сельхозпотребителей.



- а)  
 1 – корпус; 2 – отвод воды;  
 3 – подвод воды;  
 4 – многоэластичный электродный пакет; 5 – токоввод; 6 – изолятор;  
 6-7 – пакет диэлектрических пластин;  
 8 – маховик.

- б)  
 1 – корпус; фазный электрод;  
 3 – антиэлектрод; 4 – фторопластовая труба; 5 – маховик; 6 – отвод воды;  
 7 – подвод воды; 8 – изолятор.

Рисунок 2.2 – Электродный водонагреватель КЭВ-0,4 с пластинчатыми (а) и цилиндрическими (б) электродами

Применение электромеханического способа регулирования мощности с исполнительным механизмом для поворота электродной группы влечет за собой необходимость разработки отдельного шкафа управления, стоимость которого в настоящее время соизмерима со стоимостью самого ЭВН. Недостаточная надежность автоматики снижает эксплуатационные показатели и ремонтпригодность в условиях сельхозпотребителей.

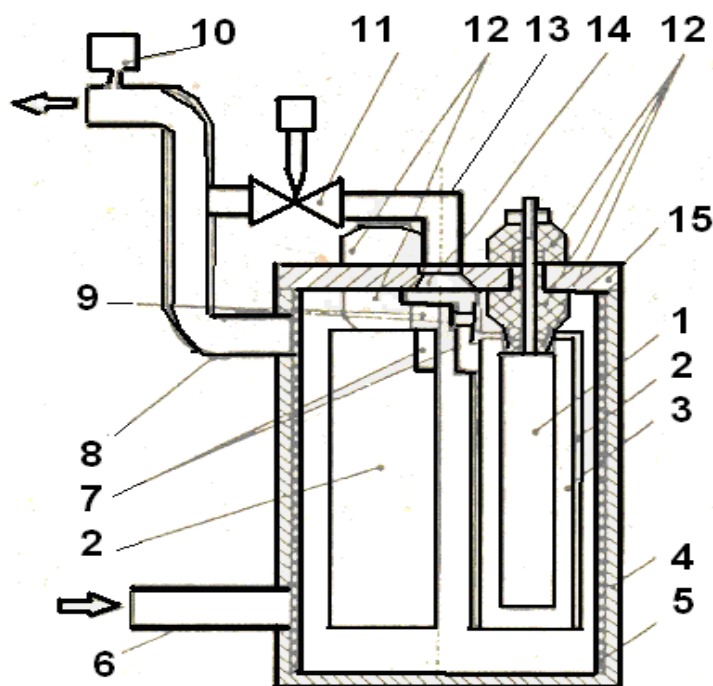
Для устранения этих недостатков в России разработан водонагреватель ЭВНПЭ-100 с гидравлическим способом регулирования мощности, показанный на рисунке 2.3. Нагреваемая вода циркулирует по двум каналам:

по первому – между пассивными электродами 2 и корпусом 4 к отводящему патрубку, по второму – через кольцевые камеры 3, камеру 14, трубопроводу 13 и регулируемый клапан 11 к отводящему патрубку. При нагреве воды до заданной температуры регулирующий клапан перекрывает циркуляцию по второму каналу, вода закипает и пар вытесняет ее из камеры 3. Таким образом, мощность регулируется при минимизации входящего в САР электрооборудования, без сложных и дорогостоящих шкафов управления.

Недостатком этого способа является периодическое закипание воды в камере 3, что приводит к интенсивному накипеобразованию и снижению надежности.

Однако эти ЭВН не получили широкого распространения, вследствие недостаточной эксплуатационной надежности и сложности изготовления.

В НПО «Казсельхозмеханизация» для условий сельского хозяйства разработан электродный водонагреватель ЭВН-25 с новой конструкцией многоэлементных электродов, состоящих из набора дугообразных стержней, установленных по поперечной схеме (перпендикулярно направлению движения воды). Это решение электродной системы увеличивает рабочую площадь электродов при той же металлоемкости, что и у пластинчатых электродов, и, во-вторых, обуславливает выравнивание плотности тока по длине стержней.

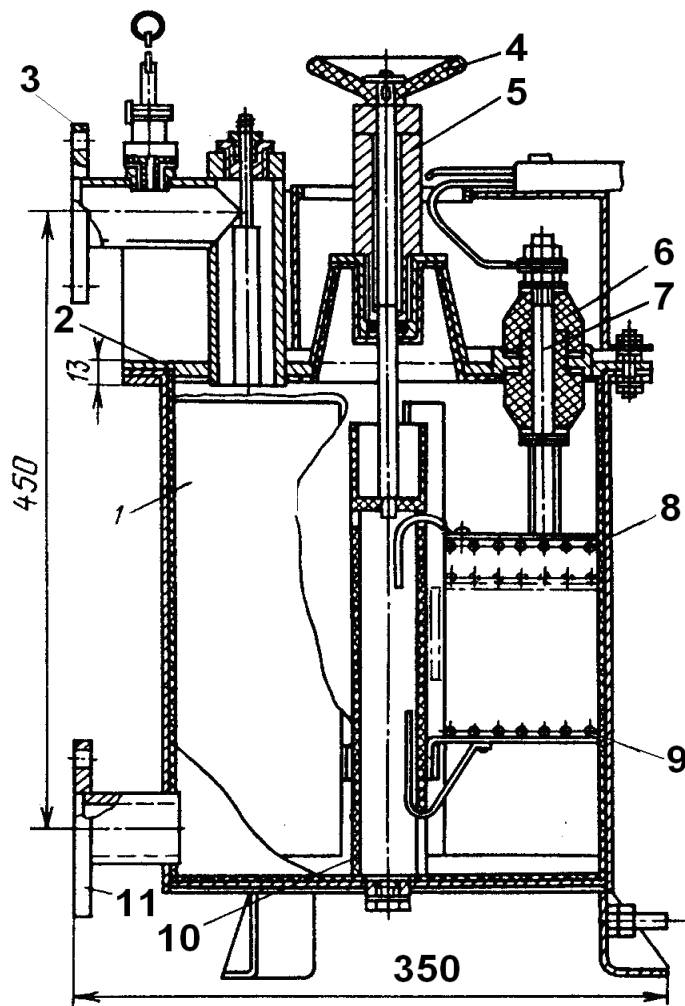


1 – фазный электрод; 2 – пассивный электрод; 3 – кольцевая камера; 4 – корпус; 5 – изоляционный цилиндр; 6, 8 – подводящий и отводящий патрубки; 7 – патрубок, соединяющий кольцевые камеры; 9 – изолирующая втулка; 10 – компенсационная емкость; 11 – регулирующий клапан; 12 – изоляторы; 13 – трубопровод; 14 – камера; 15 – крышка.

Рисунок 2.3 – Электродный водонагреватель с гидравлическим способом регулирования мощности



Конструкция водонагревателя показана на рисунке 2.4. Для поддержания номинальной мощности в диапазоне изменения величины удельной проводимости воды от 6 до 40 Ом·м, предусмотрено комбинированное регулирование мощности: плавное, которое обеспечивается перемещением нижних электродов, и ступенчатое, реализуемое переключением схемы соединения «треугольник-звезда». Диапазон регулирования мощности при таком способе расширен до величины от 14 до 100%.



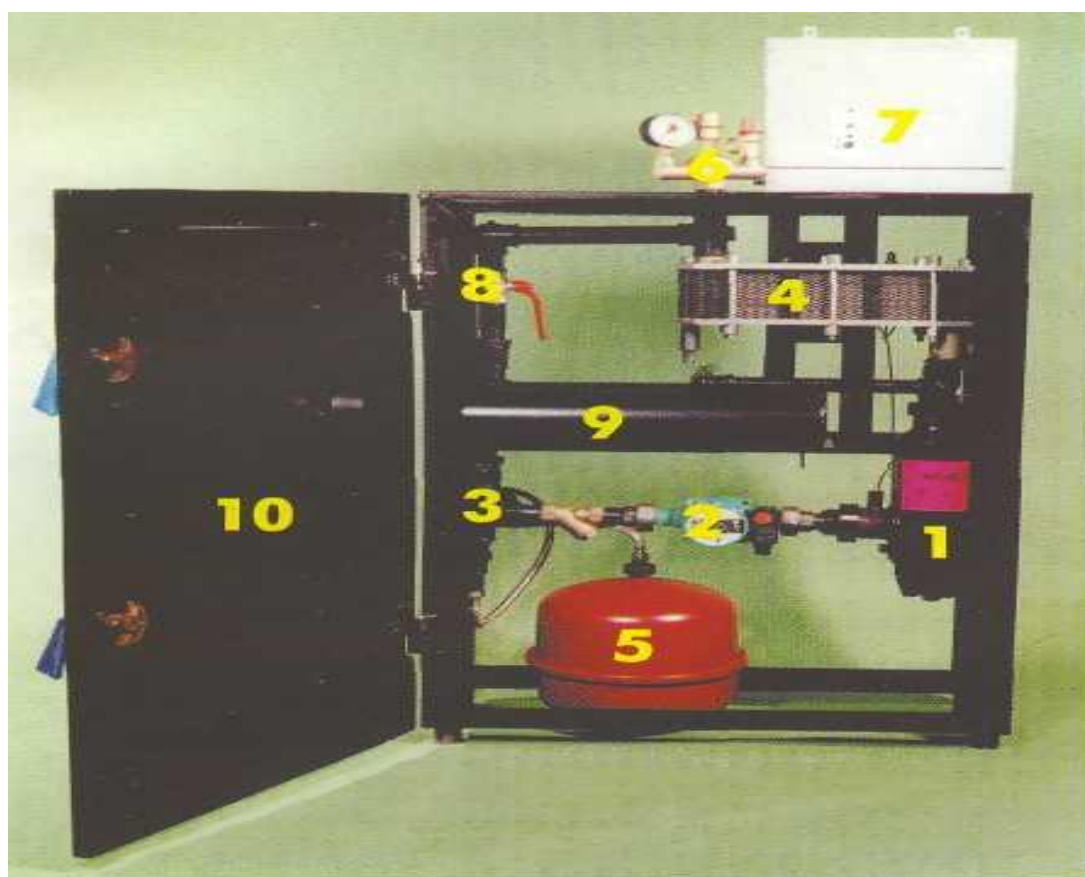
- 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – выходной патрубок; 4 – маховик;  
 5 – регулятор мощности; 6 – проходной изолятор; 7 – токоввод; 8, 9 – электроды;  
 10 – экран; 11 – входной патрубок.

Рисунок 2.4 – Электродный водонагреватель ЭВН-25 с многоэлементными электродами, установленными по поперечной схеме

Фирма «Баккара» (Россия) освоила выпуск водонагревателей ЭВП-03 мощностью 5 и 15 кВт, в период с 1996 по 1999 г. произведено 5 тыс. штук показанной на рисунке 2.5. На основе этих водонагревателей разработаны модульные котельные серии МК мощностью 15; 30; 45; 60; 75 и 90 кВт. В состав модульной котельной входят: водонагреватель ЭВП-03.3

мощностью 15 кВт (количество зависит от мощности), циркуляционный насос, фильтр грубой очистки, пластинчатый теплообменник (поверхность теплообмена 0,52; 0,56; 1,12; 1,68 м<sup>2</sup>), расширительный бак мембранного типа, блок управления. Монтируется МК на жесткой раме с защитным ограждением.

Недостатком этих водонагревателей является то, что вследствие минимальных габаритов корпуса приняты предельно малые расстояния между стержневыми электродами, что обуславливает высокую плотность тока, интенсивный коррозионный износ и забивание накипью. Эти факторы требуют проведения специальной водоподготовки для устранения солей жесткости, частой замены электродов, срок службы которых не более 1 года, что значительно увеличивает эксплуатационные затраты и снижает надежность установки.



1 – водонагреватель ЭВП-03.3; 2 – циркуляционный насос; 3 – фильтр;  
4 – пластинчатый теплообменник; 5 – расширительный бак; 6 – блок безопасности;  
7 – блок управления; 8 – вентиль; 9 – рабочая жидкость; 10 – корпус.

Рисунок 2.5 – Модульная котельная на базе электродного водонагревателя ЭВП-03.3 мощностью 15 кВт

Обзор конструкции ЭВН показывает, что в сельском хозяйстве получили распространение водонагреватели с электродными системами в виде пластин различной формы – прямоугольные, дугообразные, угловые, а

также цилиндрические и стержневые. Регулирование мощности в них осуществляется следующими способами – диэлектрическими экранами, пассивными электродами, гидравлическим способом, переключением групп электродов и тиристорными (симисторными) схемами управления.

К недостаткам известных конструкций ЭВН с электродами в виде сплошной поверхности следует отнести неравномерность распределения плотности тока на электродах, неравномерность температурного поля в межэлектродном пространстве, высокую интенсивность процессов коррозионного износа и накипеобразования, что в итоге снижает их эксплуатационную надежность и, во-вторых, недостаточный уровень обеспечения электробезопасности.

Электродная система – это основной элемент водонагревателя, от ее конструкции и параметров зависят все основные показатели работы ЭВН – технические, технологические, эксплуатационные, показатели надежности и электробезопасности.

Рассмотрим технический уровень электродных систем.

*Тип электродов.* Пластинчатые электроды характеризуются несимметрией нагрузки по фазам при зануленном корпусе, в случае изолированного от земли корпуса степень несимметрии несколько снижается. На торцах электродов напряженность поля будет в 4...6 раз, а плотность тока в 1,4...1,5 раз выше, чем в средней части.

Углообразные электроды, согнутые под углом 120° также создают неравномерное температурное поле по поперечному сечению корпуса, напряженность поля и плотность тока на торцах значительно выше средних значений.

Цилиндрические коаксиальные электроды вследствие недостаточной ширины кольцевых зазоров между электродами создают опасность забивания их накипью, большая часть потока воды проходит, минуя тепловыделяющие зоны, поэтому возникает необходимость перегрева воды, что ведет к повышенному износу элементов электродной системы. Кроме того, в этой конструкции наблюдается как радиальная, так и вертикальная неравномерность распределения плотности тока.

Стержневые, дугообразные и другие известные электродные системы также характеризуются неравномерным распределением напряженности электрического поля, плотности тока и температуры по высоте межэлектродного пространства.

*Схема установки электродов.* В известных ЭВН электроды устанавливаются в корпусе вертикально вдоль потока нагреваемой воды, т.е. в плоскости, параллельной движению воды. Такая параллельная схема установки имеет следующие недостатки: неравномерное распределение по высоте температуры и плотности тока, повышенный коррозионный износ верхних частей электродов. Это обусловлено 2...2,5 кратным уменьшением удельного сопротивления воды по высоте межэлектродного пространства

вследствие повышения ее температуры при движении вверх между электродами.

В водонагревателе ЭВН-25, разработанном в НПО «Казсельхозмеханизация», для устранения этих недостатков предложена поперечная схема установки многоэлементных электродов. При этой схеме вода движется от нижних электродов к верхним, поэтому температура ее в каждом сечении межэлектродного пространства, параллельном плоскости электродов, практически одинакова. Поскольку все элементы каждого электрода находятся в одинаковых температурных условиях, то степень равномерности распределения плотности тока повышается, однако, как показали испытания, наблюдается коррозионный износ элементов многоэлементных электродов, если их диаметр меньше 5...7 мм.

*Способ регулирования мощности.* В рассмотренных ЭВН регулирование мощности, как это отмечено выше, осуществляется в большинстве случаев за счет экранирования части площади активной поверхности электродов, что вызывает повышенный износ оставшейся части.

Гидравлический способ регулирования требует периодического закипания воды в межэлектродном пространстве для получения пара, который вытесняет воду из межэлектродного пространства – это вызывает интенсивное накипеобразование.

Электромеханический способ требует значительного свободного пространства для перемещения изоляционных экранов или пассивных электродов.

Тиристорный способ регулирования требует дорогостоящих схем управления, обслуживания специалистами высокой квалификации и, кроме того, вызывает появление высших гармоник в сети.

Рассмотрим эксплуатационные показатели работы ЭВН.

*Равномерность распределения плотности тока.* От нее зависит степень равномерности износа электродов и других элементов электродной системы. При параллельной схеме установки электродов возникает неравномерное температурное поле, которое обуславливает неравномерное распределение плотности тока по их высоте. Степень неравномерности пропорциональна перепаду температур, например, при перепаде 85°C плотность тока в верхней части электродов превышает в 3,8 раза ее значение в нижней части.

Для обеспечения допустимых значений напряженности электрического поля и плотности тока за основу принят опыт длительной эксплуатации ЭВН, согласно которому рекомендуется принимать  $E_{\text{дон}} = 5...10 \cdot 10^4$  В/м, а  $j_{\text{дон}} = 0,5...1 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>. В условиях сельскохозяйственного производства для ограничения интенсивности накипеобразования на электродах из нержавеющей стали X18H10T оптимальный диапазон сужается:  $j_{\text{дон}} = 0,15...0,35 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>. Во ВНИИЭТО рекомендуют учитывать материал электродов: для стали X18H10T  $j_{\text{дон}} = 0,25 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup>; для стали 1X13  $j_{\text{дон}} =$

$0,7 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$ ; для стали 50  $j_{\text{дон}} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$ .

*Работоспособность в широком диапазоне значений удельного сопротивления воды*

Значение его для пресноводных источников изменяется в широких пределах: от 6 до 300 Ом·м. Установлено, что 54% сельских населенных пунктов РК имеют источники пресной воды с удельным сопротивлением от 6 до 50 Ом·м, остальные используют воду с высокой минерализацией с удельным сопротивлением меньше 6 Ом·м. Высокой степенью минерализации воды отличаются артезианские скважины в центральных, южных и западных областях, где удельное сопротивление изменяется от 6 до 20 Ом·м. Кроме того, наблюдаются сезонные колебания удельного сопротивления в 2...4 раза.

ЭВН при конструировании рассчитываются на номинальное значение удельного сопротивления, которое у большинства серийных установок равно 20 или 30 Ом·м. Отклонение его значений в сторону увеличения снижает мощность ЭВН ниже номинальной, а уменьшение приводит к тому, что ЭВН работает с перегрузкой, которая может превысить допустимые пределы и стать причиной выхода установки из строя. Для обеспечения номинального режима работы ЭВН должна периодически проводиться водоподготовка. Таким образом, при эксплуатации ЭВН необходимо постоянно контролировать удельное сопротивление воды и приводить его к номинальному значению.

*Интенсивность накипеобразования.* Это явление снижает производительность, требует дополнительных затрат на очистку и ремонт электродной системы.

Проведенные во ВНИИЭТО исследования химического состава отложений на электродах в течение 1000 ч показали, что преобладающим компонентом являются окислы железа (от 88 до 95% в пересчете на  $Fe_2O_3$ ), содержание солей жесткости сравнительно невелико (от 0,3 до 2,5% в пересчете на  $CaO$  и  $MgO$ ) [8]. Оценка влияния реагентов, используемых для водоподготовки, на интенсивность накипеобразования показала, что масса отложений при добавлении  $Na_2CO_3$  составила 362 г, а при добавлении  $Na_2SO_4$  возрастает в 1,9 раза – 693 г.

*Скорость коррозии элементов электродной группы.* Скорость коррозии сталей под действием переменного тока зависит от плотности тока, температуры, значения рН среды, химического состава солей воды и марки стали.

В растворе в воде сильноокислых солей скорость коррозии, напротив, почти линейно возрастает с увеличением плотности тока, т.к. в катодный полупериод на электроде происходит разряд ионов водорода, а доля ионов металла незначительна.

Во ВНИИЭТО проведены исследования коррозионной стойкости в растворе хлористого натрия углеродистой стали 50, хромоникелевой

нержавеющей стали X18H10T и хромистой стали 1X13 при изменении плотности тока от  $0,5 \cdot 10^3$  до  $10^3$  А/м<sup>2</sup>. Установлено, что скорость коррозии стали 50 имеет минимальное значение и находится в линейной зависимости от плотности тока и изменяется в пределах от 55 до 80 мг/см<sup>2</sup>·сут. Нержавеющая сталь 1X13 имеет начальную скорость коррозии 27 мг/см<sup>2</sup>·сут., т.е. в 2 раза ниже, чем сталь 50, но при плотностях тока около  $6,5 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup> они становятся равны, а с дальнейшим увеличением плотности тока резко возрастает до 160 мг/см<sup>2</sup>·сут.

Нержавеющая сталь X18H1T уже в области плотностей выше  $2,5 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup> утрачивает свои преимущества перед углеродистыми сталями, причем далее скорость коррозии резко возрастает и достигает 240 мг/см<sup>2</sup>·сут уже при плотности тока  $4,5 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup>.

Таким образом, экспериментально доказано, что в качестве материала для электродной группы целесообразно применять углеродистые стали. Использование нержавеющей легированных сталей возможно при плотностях тока не более  $2,5 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup>.

Важным фактором, влияющим на скорость коррозии электродов, является химический состав солей, используемых для регулирования удельного сопротивления воды.

Было исследовано влияние на коррозию электродов растворов  $Na_2SO_4$ ,  $NaCl$ ,  $Na_3PO_4$  и  $Na_2CO_3$  с удельным сопротивлением 5 Ом·м при плотности тока в диапазоне от  $0,5 \cdot 10^3$  до  $7 \cdot 10^3$  А/м<sup>2</sup>.

Установлено, что углеродистая сталь подвержена наибольшему коррозионному разрушению, в растворах  $Na_2SO_4$  (до 110 мг/см<sup>2</sup>·сут) и  $NaCl$  (50-85 мг/см<sup>2</sup>·сут.). Наилучшие результаты получены при испытании образцов в растворе  $Na_2CO_3$ , т.к. эта соль сообщает воде щелочную реакцию, то скорость коррозии слабо зависит от плотности тока и в несколько раз ниже: от 2 до 5 мг/см<sup>2</sup>·сут.

Характер коррозии стали в растворе кальцинированной соды равномерный, на электродах образуется ровная прочно сцепленная с металлом пленка продуктов коррозии коричневого цвета.

Данные зависимости показателей качества воды от времени работы ЭВН в замкнутом контуре без разбора воды на технологические нужды, полученные при испытаниях водонагревателя КЭВЗ-100/0,4 М02 в течение 1000 часов показывают, что в начальный период работы происходит значительное изменение физико-химических показателей качества воды.

Значение рН воды возрастает от 7,5 до 10, что происходит за счет подщелачивания воды в результате коррозионных процессов, которые сопровождаются увеличением концентрации гидроксильных ионов.

Жесткость воды стабилизируется на уровне 0,2 мг-экв/кг через время, которое принимают за длительность начального периода. При жесткости исходной воды 2,5 мг-экв/кг этот период составляет 200 г, для 4,5 мг-экв/кг – 300 ч.

С возрастанием жесткости исходной воды увеличивается длительность начального периода.

В конце начального периода стабилизируется и удельное сопротивление воды на уровне 42,5 Ом·м, что требует проведения водоподготовки для приведения его значения к номинальному, которое для КЭВЗ равно 30 Ом·м.

*Потенциалы на корпусе ЭВН и технологическом оборудовании.* Исследования ВИЭСХ показали, что потенциал на корпусе ЭВН при аварийных режимах (обрыв одной или двух фаз) составляет 19 и 21 В, соответственно, при наличии нулевого защитного провода. При несимметрии нагрузки фаз потенциал возрастает с 10 до 44 В при увеличении коэффициента несимметрии от 0,5 до 4.

При отсутствии нулевого защитного провода в случае величины повторного заземления 10 Ом потенциал на корпусе достигает 98 В при обрыве одной фазы и 142 В при обрыве двух фаз, а при несимметрии нагрузки фаз увеличивается от 30 до 79 В в диапазоне изменения значений коэффициента несимметрии от 0,5 до 4 соответственно.

Основным недостатком известных ЭВН с точки зрения электробезопасности является низкое сопротивление фаз относительно корпуса и, во-вторых, тот факт, что корпус является нулевой точкой электродной системы. При заземлении корпуса заземляется нулевая точка «звезды» и поэтому включение ЭВН в сеть напряжением до 1000 В с изолированной нейтрально превращает ее в сеть с глухозаземленной нейтрально и при замыкании на корпус фазы сети напряжение этой фазы распределится между сопротивлениями заземлений электрической и электродной установок. В этом случае чаще всего не происходит срабатывание защиты и поэтому корпус ЭВН может длительно находиться под опасным напряжением [7].

Для установок до 1000 В при малом сопротивлении заземления или большом удельном сопротивлении воды рекомендуется применять вариант защиты с одной изолирующей вставкой и одним заземлителем, тогда при коротком замыкании на технологическом оборудовании будет напряжение 8...15 В, а в нормальном режиме 2...6 В [7].

Недостатком известных методов является также необходимость дополнительных затрат на изготовление, установку и обслуживание сеток для выравнивания потенциала, защитного кожуха ЭВН, изоляционных элементов, изолирующих вставок и заземлителей.

На основе проведенного анализа конструкции электродных водонагревателей принимаем конструкцию электродной группы в виде фазных стержневых электродов и нулевых цилиндрических электродов, которая позволит выровнять распределение плотности тока на электродах и обеспечить соблюдение требований электробезопасности.

## 2.2 Расчет водонагревателя с коаксиальными электродами

Исходные данные:

1. Номинальная мощность ЭВН:  $P_{ном} = 25 \cdot 10^3$  Вт
2. Напряжение питающей сети:  $U = 380$  В
3. Номинальное удельное сопротивление воды при 20°C:  $\rho_{20ном} = 30$  Ом·м
4. Номинальные температуры воды в контуре ЭВН  
на входе:  $t_{ex} = 70^\circ\text{C}$   
на выходе:  $t_{вых} = 95^\circ\text{C}$   
степень нагрева:  $\Delta t = t_{вых} - t_{ex} = 95 - 70 = 25^\circ\text{C}$
5. Коэффициент полезного действия:  $\eta = 0,99$ .
6. Геометрические данные электродной группы (рисунок 2.8) с коаксиальными электродами

Радиус фазного электрода:  $r_1 = 0,01$  м

Радиус нулевого электрода:  $r_2 = 0,016$  м

Радиус корпуса:  $r_k = 0,145$  м

Расстояние от экрана до корпуса:  $l = 0,05$  м

Радиус отверстий в нулевом электроде:  $r_0 = 0,005$  м

7. Допустимая напряженность электрического поля:  $E_{дон} = 90 \cdot 10^3$  В/м.

*Расчет эквивалентного сопротивления воды*

На основании анализа данных по концентрации солей в природной воде для работы на которой предназначен водонагреватель, определяется удельное сопротивление основных групп солей, растворенных в воде (хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов).

1. Удельное сопротивление хлоридов при концентрации  $C_{Cl} = 0,14$  мг-экв/л:

$$\rho_{Cl} = \frac{0,1F}{C_{Cl}} = \frac{0,1 \cdot 96500 \cdot 10^{-2}}{0,14} = 689,3 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

2. Удельное сопротивление сульфатов при  $C_{SO_4} = 0,36$  мг-экв/л

$$\rho_{SO_4} = \frac{0,1F}{C_{SO_4}} = \frac{0,12 \cdot 96500 \cdot 10^{-2}}{0,36} = 321,6 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

3. Удельное сопротивление гидрокарбонатов  $C_{HCO_3} = 3,2$  мг-экв/л

$$\rho_{HCO_3} = \frac{0,1F}{C_{SO_4}} = \frac{0,14 \cdot 96500 \cdot 10^{-2}}{3,2} = 42,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$



4. Эквивалентное сопротивление воды:

$$\rho_{\text{экв.}} = \frac{\rho_{\text{Cl}} \cdot \rho_{\text{SO}_4} \cdot \rho_{\text{HCO}_3}}{\rho_{\text{Cl}} \rho_{\text{SO}_4} + \rho_{\text{SO}_4} \rho_{\text{HCO}_3} + \rho_{\text{Cl}} \rho_{\text{HCO}_3}} = \frac{689,3 \cdot 321,6 \cdot 42,2}{689,3 \cdot 321,6 + 321,6 \cdot 42,2 + 689,3 \cdot 42,2} = 35,3 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

*Расчет высоты электродной группы*

1. Тепловая мощность ЭВН:

$$Q = \rho_{\text{ном}} \cdot \eta = 25 \cdot 10^3 \cdot 0,99 = 24750 \text{ Вт.}$$

2. Удельная теплоемкость воды (из термодинамических таблиц воды):

$$C_I = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C.}$$

3. Расход воды, циркулирующей через ЭВН:

$$m = \frac{Q}{C(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}})} = \frac{15840}{4200(95 - 70)} = 0,23 = 828 \text{ кг/ч.}$$

4. Фазное электрическое сопротивление:

$$R = \frac{3U_{\phi}}{P_{\text{ном}}} = \frac{3 \cdot 220^2}{25000} = 5,81 \text{ м.}$$

5. Средняя температура в электродной группе:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} = \frac{70 + 95}{2} = 82,5^{\circ}\text{C.}$$

6. Расчетное удельное сопротивление воды:

$$\rho_t = \frac{40 \rho_{\text{экв.}}}{20 + t} = \frac{40 \cdot 35,4}{20 + 82,5} = 13,8 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

7. Геометрический коэффициент коаксиальных электродов:

$$K = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \ln \frac{0,016}{0,01} = 0,075.$$

8. Высота электродов:

$$H = \frac{PK\rho_t}{3U_\phi^2} = \frac{25000 \cdot 0,075 \cdot 13,8}{3 \cdot 220^2} = 0,17 \text{ м.}$$

*Расчет допустимой плотности тока*

1. Сопротивление воды в межэлектродном пространстве:

$$R'_\phi = \frac{\rho_t (r_2 - r_1)}{\pi (r_2 + r_1) H} = \frac{13,8(0,016 - 0,01)}{3,14(0,016 + 0,01)0,114} = 8,89 \text{ Ом.}$$

Погрешность по сравнению с расчетным значением  $R_\phi$  составляет 2,3.

2. Удельная электропроводность:

$$\gamma_t = \frac{1}{\rho_t} = \frac{1}{13,8} = 0,072 \text{ см.}$$

3. Плотность тока на фазном электроде:

$$j = \frac{U\gamma_t}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{220 \cdot 0,072}{0,01 \cdot \ln \frac{0,016}{0,01}} = 3,3 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2.$$

4. Допустимая плотность тока:

$$j_{\text{доп.}} = \frac{E_{\text{доп.}}}{\rho_t} = \frac{90000}{13,8} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2.$$

Таким образом соблюдается условие  $j < j_{\text{доп.}}$ .

*Расчет показателей электробезопасности*

1. Сопротивление выносу потенциала на корпус:

$$R_{\text{ВП}} = \frac{\rho(3l + b)}{\pi \cdot r_0^2 n} = \frac{30(3 \cdot 0,14 - 0,03)}{\pi \cdot 0,005^2 \cdot 14} = 4000 \text{ Ом.}$$

2. Коэффициент звездности:

$$K_{\text{зв.}} = \frac{g_{\text{вп}}}{3(g_\phi + g_{\text{ВП}})} = \frac{0,000087}{3(0,11 + 0,000087)} = 0,00026,$$

где  $g_{\phi}$  - проводимость фазы;

$g_{ВП}$  - проводимость между фазным электродом и корпусом.

3. Допустимая сила тока для человека:

$$I_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{доп}}}{R_r} = \frac{12}{500} = 0,024 \text{ А},$$

где  $U_{\text{доп}} = 12 \text{ В}$  – допустимое напряжение прикосновения;

$R_r = 500 \text{ Ом}$  – сопротивление кожи человека.

4. Допустимая величина сопротивления выносу потенциала

$$R_{ВП \text{ доп}} = \frac{U'_{\phi} - U_{\text{доп}}}{I_{кз}} = \frac{236,5 - 12}{0,4} = 561,3 \text{ Ом},$$

где  $U'_{\phi} = 236,5 \text{ В}$  – допустимое превышение напряжения у потребителя (не более 7,5%);

$I_{кз}$  - ток однофазного короткого замыкания

$$I_{кз} = \frac{U_{\text{доп}}}{R_{пз}} = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ А},$$

где  $R_{пз} = 30 \text{ Ом}$  – допустимое сопротивление повторного заземления, согласно ПУЭ.

Таким образом соблюдается условие  $R_{ВП} > R_{ВП \text{ доп}}$ .

### 2.3 Описание конструкции ЭВН

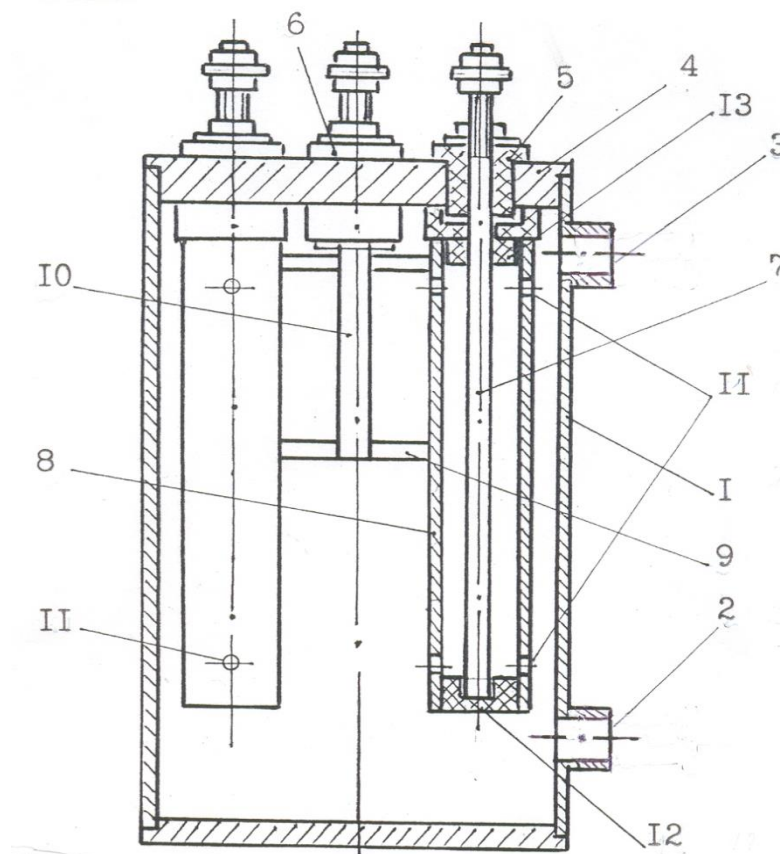
ЭВН – 25 предназначен для автономных систем горячего водоснабжения технологических процессов в молочном животноводстве и отопления производственных помещений.

Конструкция ЭВН показана на рисунке 2.6. Электродный водонагреватель содержит:

2 – электродный водонагреватель;

4 – съемный кожух;

- 5 – рама;
- 6 – стакан для термодатчика;
- 7 – программируемый термостат;
- 8 – перегородка;
- 9 – автоматический выключатель;
- 10 – магнитный пускатель;
- 11 – тумблер;
- 12 – терморегулятор;
- 13 – амперметр;
- 14 – болт зануления;
- 15 – циркуляционный насос;
- 16 – фильтр;
- 17 – тепловая изоляция;
- 18 – диффузионный дозатор.



- 1 – сборочный модуль; 2 – электродный водонагреватель; 3 – передняя панель;
- 4 – съемный кожух; 5 – рама; 6 – стакан для термодатчика; 7 - программируемый термостат; 8 – перегородка; 9 – автоматический выключатель; 10 – магнитный пускатель;
- 11 – тумблер; 12 – терморегулятор; 13 – амперметр; 14 – болт зануления;
- 15 – циркуляционный насос; 16 – фильтр; 17 – тепловая изоляция;
- 18 – диффузионный дозатор.

Рисунок 2.6 – Конструкция ЭВН с экранированием фазных электродов нулевыми электродами

Электродная группа состоит из фазных электродов коаксиально расположенных внутри нулевых электродов.

Фазные рельефные электроды изготавливаются из стержней круглого сечения диаметром 16 мм и устанавливаются на проходных изоляторах. По всей длине электродов выполняются радиальные проточки глубиной 3 мм для создания рельефной поверхности. В нижней части на резьбе крепится изолирующая фторопластовая втулка.

Нулевые электроды изготавливаются из стальной трубы с перфорацией в виде отверстий диаметром 5 мм в верхней и нижней частях.

Нулевые электроды жестко связаны с токовводом нейтрали сети, который представляет собой шпильку, к которой привариваются перемычки от каждого нулевого электрода. Шпилька крепится на отдельном изоляторе. В результате получает блок нулевых электродов, изолированный от корпуса ЭК и экранирующий фазные электроды с целью исключения выноса потенциала.

Такая конструкция нулевых электродов практически исключает взаимодействие фазных электродов с корпусом, что значительно снижает вынос потенциала с потоком воды на трубопроводы и технологическое оборудование. Это позволяет обеспечить требования техники безопасности по уровню напряжения прикосновения на корпусе и трубопроводах.

Электроды изготовлены из стали 45, которая наиболее устойчива к электрохимической коррозии.

Пульт управления ЭВН содержит пуско – защитную аппаратуру, которая осуществляет защиту от токов перегрузки и короткого замыкания и сигнализацию напряжения от сети, а также обеспечивает автоматическое управление работой водонагревателя в зависимости от температурного режима объекта теплоснабжения.

ЭВН работает в автоматическом режиме, по командам электронного терморегулятора типа ТЗПЗ-4М.

Питание его осуществляется от трехфазной сети переменного тока с глухозаземленной нейтралью, напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц.

Для отключения водонагревателя в часы утреннего и вечернего максимумов нагрузок энергосистемы в смете управления предусмотрена возможность включения суточного реле времени, которое рекомендуется устанавливать в шкафу отдельного учета энергии.

При работе в системе горячего водоснабжения технологического оборудования предусмотрена установка циркуляционного насоса для создания принудительной циркуляции в системе.

ЭВН работает следующим образом. Охлажденная вода из системы отопления или горячего водоснабжения поступает через входной патрубок во внутренний объем корпуса водонагревателя и нагревается электрическим током, протекающим в межэлектродном пространстве. Нагретая вода подается циркуляционным насосом в теплообменник аккумулятора теплоты системы горячего водоснабжения и в радиаторы системы отопления.

Техническая характеристика:	
Номинальная мощность	25 кВт
Номинальное напряжение	380/220 В
Число фаз	3
Схема соединения электродов	двойная звезда
Номинальное удельное сопротивление воды	30 Ом·м
Максимальная температура на выходе	95°С
Удельный расход электроэнергии	29±3 кВт·ч/м <sup>3</sup>
Теплопроизводительность	57600 кДж/ч
Подача при степени нагрева 25°С	0,54 м <sup>3</sup> /ч
Габаритные размеры:	
длина	440
ширина	303
высота	571
масса	33 кг

#### *Описание работы схемы автоматического управления*

Оборудование работает в автоматическом режиме. Основной режим работы – принудительный с отключением от сети в часы максимума нагрузок энергосистем с помощью суточным электронном реле времени ТМ21. Дополнительный режим – свободный (при пусконаладочных работах) показан на рисунке 2.7.

В зависимости от заданных границ температуры, устанавливаемых на ДТ-1 отключается магнитный пускатель КМ1, отключая водонагреватель от сети.

При достижении нижнего предела температуры +92°С терморегулятор включает магнитный пускатель КМ1.

При обрыве одной из фаз или перегорании предохранителей, реле К2...К4 размыкают свои контакты в цепи катушки пускателя КМ1, который отключает водонагреватель от сети.

После срабатывания аварийной защиты включение водонагревателя в работу осуществляется только вручную, после устранения причины аварии.

При опробовании водонагревателя, переключатель режимов работы А2 устанавливается в положении «РУЧНОЕ». При этом положении включение водонагревателя в работе осуществляется кнопкой «ПУСК» В1, отключение – кнопкой «СТОП» В2.

Шкаф управления и автоматики крепится на стенке по месту. В шкафу управления и автоматики располагаются все приборы и оборудование.

Предусмотрено два режима работы – летний и зимний.

В летнем режиме работы комплекта осуществляется при помощи ДТ-1 и ДТ-2. Для этого переключатель А3 устанавливается в положение «ЛЕТО». Система отопления отключается при помощи запорного вентиля».

На терморегуляторе ДТ-2 устанавливаются граница температуры +65°С

и зона нечувствительности  $+5^{\circ}\text{C}$ .

При достижении температуры воды в бойлере  $+70^{\circ}\text{C}$  терморегулятор отключает магнитный пускатель КМ1. При этом водонагреватель отключается от сети.

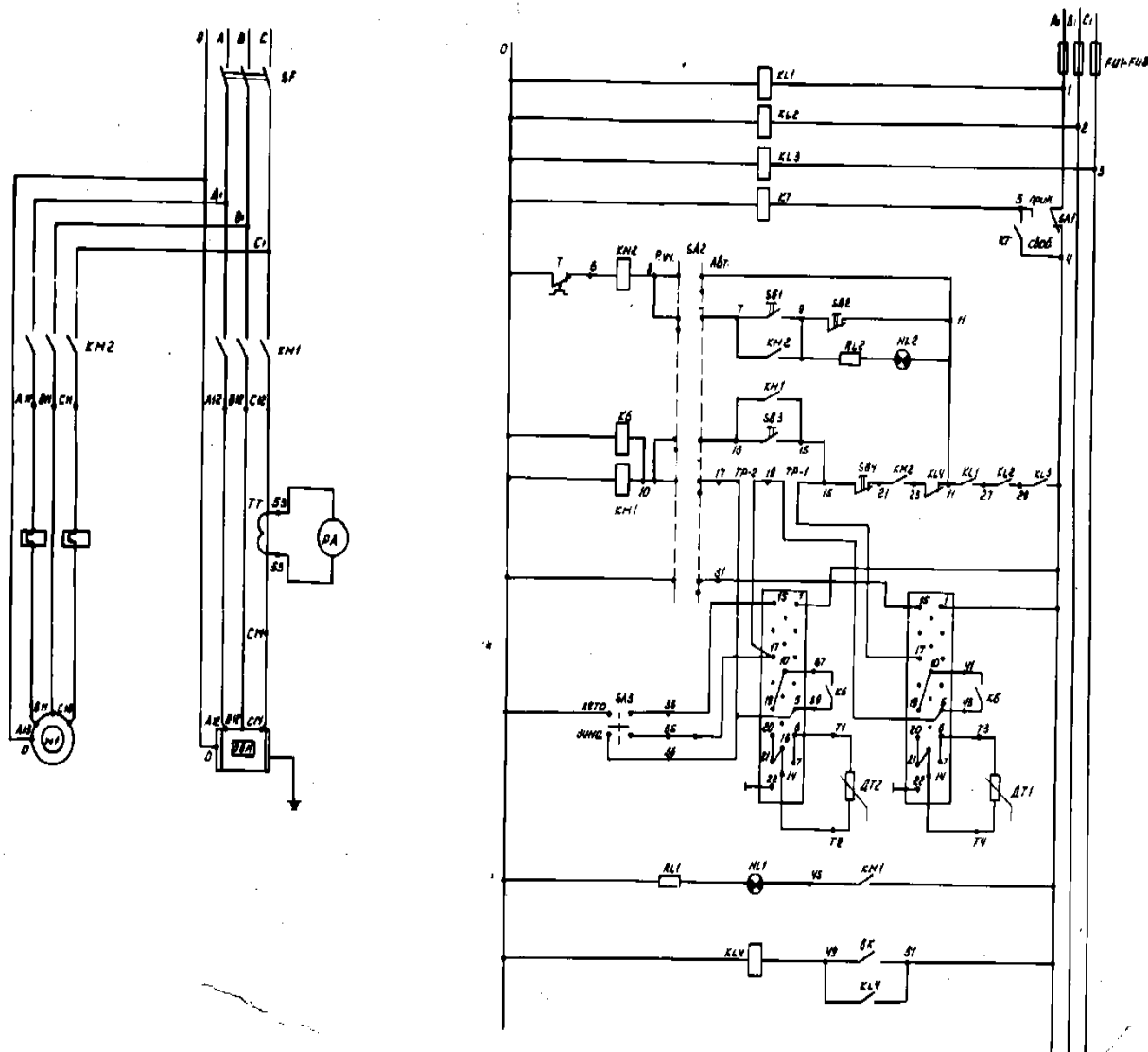


Рисунок 2.7 – Схема автоматического управления

## 2.4 Расчет сопротивлений выносу потенциала

Для обеспечения требований электробезопасности при эксплуатации электродных водонагревателей в условиях сельскохозяйственного производства, которое характеризуется большим количеством помещений с повышенной опасностью и особо опасных, необходимо исключить возможность появления на технологическом и отопительном оборудовании потенциалов, превышающих допустимое напряжение прикосновения для

человека ( $U_{\text{доп}} = 12\text{В}$ ).

В аварийных режимах потенциал на корпусе ЭВН может достигать опасных значений – 70...142 В [7], поэтому серийные ЭВН оборудуются различными устройствами защиты, особенно от неполнофазных режимов.

При обрыве одной или двух фаз ЭВН представляет опасность в случае обрыва нулевого провода, поэтому в разных помещениях, имеющих технологическое оборудование связанное с ним, применяют различные способы защиты от поражения током персонала.

В случае возникновения аварийного режима, в виде замыкания фазы на корпус, напряжение этой фазы распределяется пропорционально сопротивлениям заземлений ЭВН и технологического оборудования. Такие замыкания в большинстве случаев не приводят к перегоранию плавных вставок и срабатыванию электромагнитных расцепителей автоматических выключателей, следовательно, корпус ЭВН и технологическое оборудование могут длительно находиться под опасным напряжением.

Важным критерием оценки ЭВН является коэффициент звездности, величина которого влияет на выбор технических мероприятий по обеспечению электробезопасности и в определенной мере характеризует степень совершенства конструкции ЭВН.

Теоретически коэффициент  $\gamma \approx 830 \text{ В}$ .

Первый вариант защиты рекомендуется применять при больших значениях удельного сопротивления воды ( $\rho_{\text{зо}} \geq 200 \text{ м.м}$ ) или при малом сопротивлении заземлителя.

Второй вариант защиты следует применять при малых значениях удельного сопротивления воды и больших значениях удельного сопротивления земли на мощных установках напряжением свыше 1000 В. На рисунке 2.8 показан вариант защиты ЭВН с двумя изолирующими вставками и двумя заземлителями.

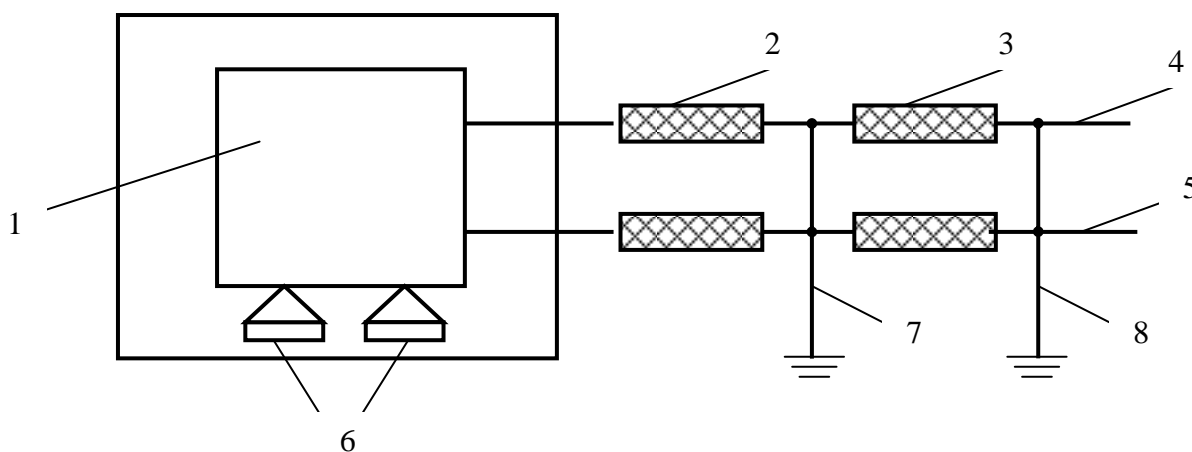


Рисунок 2.8 – Вариант защиты ЭВН с двумя изолирующими вставками и двумя заземлителями



На рисунке 2.8 показано:

- 1 – корпус ЭВН;
- 2 – первые изолирующие вставки;
- 3 – вторые изолирующие вставки;
- 4, 5 – отводящий и подводящий трубопроводы системы теплоснабжения;
- 6 – изолятор;
- 7, 8 – первый и второй заземлители.

Второй метод – это защита отдельным трансформатором. Этот способ применяется для питания ЭВН в случае, если он имеет большую мощность ( $> 100$  кВт) или расположен вдали от других электроустановок. Корпус ЭВН наглухо заземляется и без изолирующих вставок соединяется с трубопроводом. Трансформатор располагается вблизи ЭВН или на расстоянии не более 200 м, в этом случае ток короткого замыкания на землю и напряжение на трубопроводах не будет превышать 0,5-0,9 В. Нейтраль трансформатора со вторичной стороны заземляется изолированным проводом к заземлителю ЭВН, а линия может быть воздушной.

Третий метод – это защита изолирующим экраном, который устанавливается между трехфазной группой электродов и корпусом ЭВН, что позволяет снизить напряжение прикосновения на корпусе. При этом способе защиты корпус ЭВН не будет находиться под опасным напряжением, однако данному способу присущи недостатки установок, включенных в сеть с глухозаземленной нейтралью и заземлением корпуса.

Анализ методов обеспечения электробезопасности ЭВН показывает, что первые два метода требуют дополнительных затрат и не всегда дают ожидаемый эффект, особенно в аварийных режимах и при высокой степени несимметрии нагрузки.

Это объясняется тем, что эти методы являются техническими приемами подключения ЭВН, тогда как возможность выноса потенциала на корпус в известных водонагревателях заложена в конструкции электродной группы.

Наиболее целесообразным техническим решением является установка между корпусом ЭВН и электродами защитных экранирующих устройств новой конструкции – перфорированных экранов.

На рисунке 2.9 показана схема установки между стержневым фазным электродом и корпусом ЭВН диэлектрического изоляционного экрана, в котором выполнены отверстия для циркуляции нагреваемой воды.

Анализ этого выражения показывает, что сопротивление выносу потенциала при использовании диэлектрического экрана можно легко регулировать, изменяя количество отверстий в нем.

Для обеспечения допустимой величины напряжения прикосновения на корпусе ЭВН необходимо обеспечить допустимую величину сопротивления выносу потенциала между электродной группой и корпусом.

На рисунке 2.9 показано:

- 1 – фазный электрод;
- 2 – изоляционный экран;
- 3 – отверстие в экране;
- 4 – цилиндрический корпус.

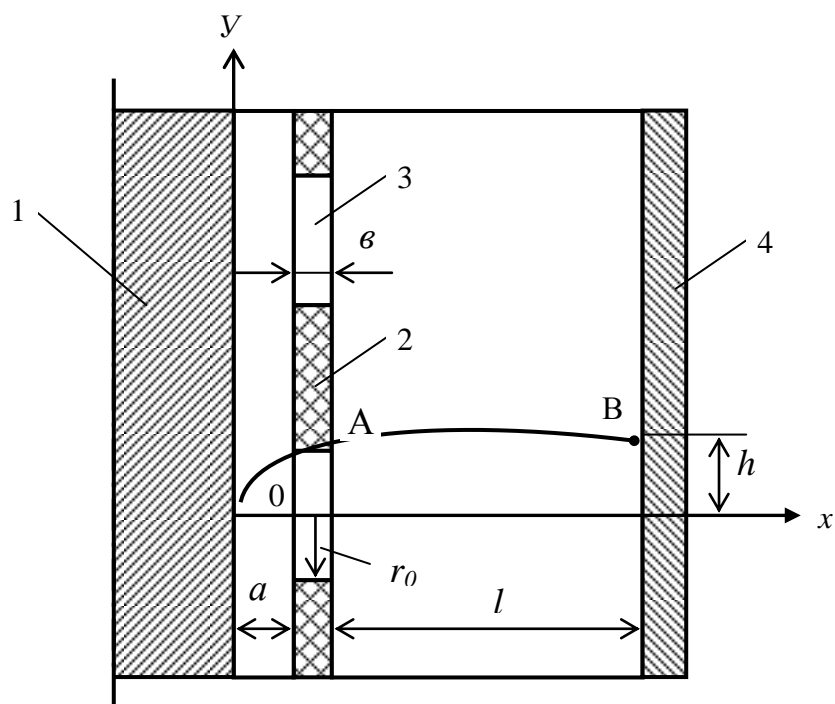


Рисунок 2.9 – Расчетная схема выноса потенциала через отверстия в защитном изоляционном экране

В этой конструкции сопротивление выносу потенциала равно:

$$R_{вн} = \frac{\rho(3l+b)}{\pi r_0^2 n}, \quad (2.1)$$

- где  $l$  – расстояние от экрана до корпуса;
- $b$  – толщина экрана;
- $r_0$  – радиус отверстий в экране;
- $n$  – количество отверстий в экране.

Согласно ПТЭ и ПТБ допустимая сила тока для человека равна

$$I_{доп.ч} = \frac{U_{доп}}{R_r} = \frac{12}{500} = 0,024 \text{ А},$$

где  $R_r$  – сопротивление кожи человека, принимается равным  $R_r = 500$  Ом.

Допустимую величину сопротивления выносу потенциала можно определить по величине тока однофазного короткого замыкания, проходящего через повторное заземление нулевого провода.

$$I_{кз} = \frac{U_{доп}}{R_{пз}} = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ А},$$

где  $R_{пз} = 30 \text{ Ом}$  – допустимое сопротивление повторного заземления согласно ПУЭ.

Допустимая величина сопротивления выносу потенциала равна

$$R_{доп} = \frac{U'_{\phi} - U_{доп}}{I_{кз}} = \frac{236,5 - 12}{0,4} = 561,3 \text{ Ом},$$

где  $U'_{\phi} = 236,5 \text{ В}$  – допустимое превышение напряжения у потребителя, которое согласно ГОСТ 13109-67 должно быть не более 7,5%.

Тогда величина сопротивления выносу потенциала должна быть

$$R_{вп} > R_{доп}. \quad (2.2)$$

В НПЦ механизации сельского хозяйства предложен новый метод обеспечения электробезопасности – разделение нулевых точек «звезды» фазных сопротивлений и «звезды» сопротивлений выносу потенциала на корпус.

Для реализации этого метода разработана новая схема соединения электродов «двойная звезда», которая показана на рисунке 2.10.

Разделение нулевых точек конструктивно достигается за счет установки экранирующих нулевых цилиндрических электродов на отдельном общем токовводе, изолированном от корпуса проходным изолятором. Фазные стержневые рельефные электроды установлены коаксиально по оси нулевых электродов и изолированы от корпуса с нижнего торца изоляционными втулками, а в верхней части – проходными изоляторами. Конструкция ЭВН показана на рисунке 2.9,  $R_A, R_B, R_C$  – фазные сопротивления «звезды» нагрузок между фазными электродами и нулевыми экранирующими;  $R_{AK}, R_{BK}, R_{CK}$  – «звезда» сопротивлений выносу потенциала на корпус; N – нулевая точка «звезды» фазных сопротивлений; K – нулевая точка «звезды» сопротивлений выносу потенциала.

Таким образом видно, что фазные сопротивления  $R_A, R_B, R_C$  соединены в «звезду» с нулевой точкой N на экранирующих нулевых электродах,

соединенных с нулевым проводом сети, а сопротивления выносу потенциала  $R_{AK}$ ,  $R_{BK}$ ,  $R_{CK}$  соединены во вторую «звезду» с нулевой точкой К на корпусе ЭВН. На рисунке 2.11 показана конструкция ЭВН с экранированием фазных электродов нулевыми электродами.

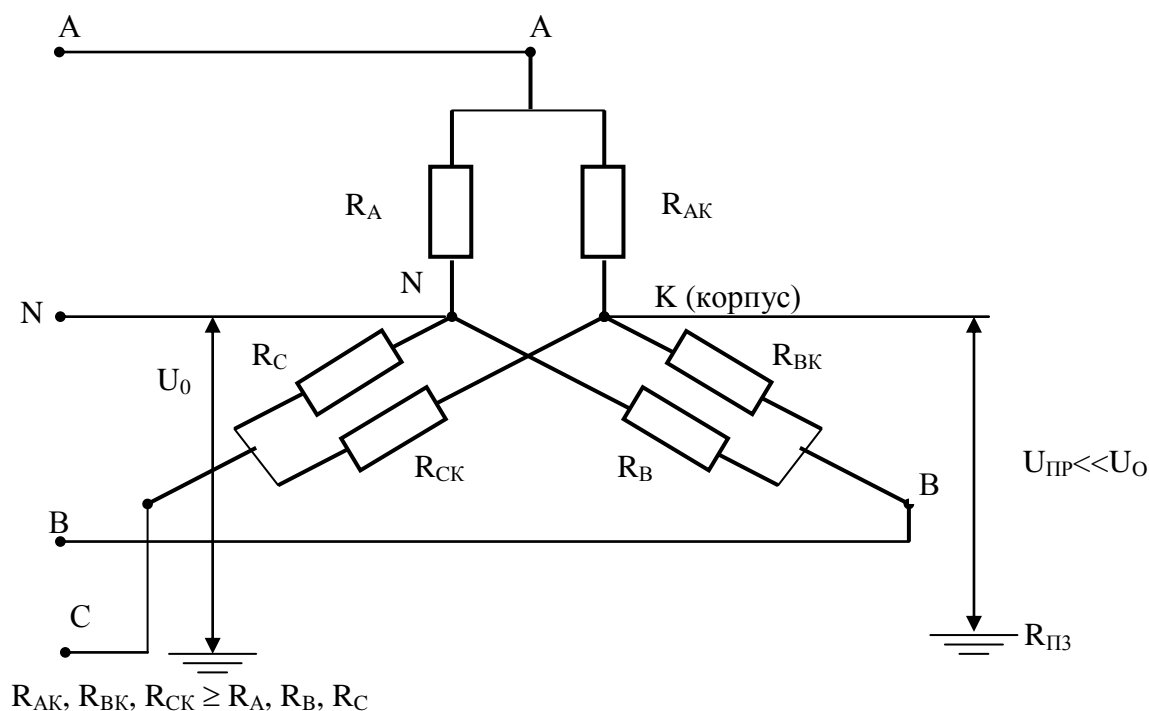


Рисунок 2.10 – Принципиальная электрическая схема соединения электродов «двойная звезда»

Линии тока от фазных электродов могут замыкаться только на нулевые экранирующие электроды, которые через общий токоввод соединены с нулевым проводом трехфазной сети.

Анализ схемы «двойной звезды» показывает, что напряжение прикосновения на корпусе ЭВН зависит только от величины сопротивлений выносу потенциала. Следовательно, для снижения напряжения прикосновения, необходимо обеспечить допустимую величину сопротивлений выносу потенциала.

Дальнейший анализ схемы «двойной звезды» показывает ее второе преимущество – в аварийных режимах напряжение смещения будет приложено не к корпусу, а к экранирующим нулевым электродам, соединенным с нейтралью сети. При этом величина напряжения прикосновения будет значительно меньше напряжения смещения  $U_{ПР} \ll U_0$ . Сопротивления выносу потенциала должны быть значительно больше фазных сопротивлений  $R_{AK} \gg R_A$ ;  $R_{BK} \gg R_B$ ;  $R_{CK} \gg R_C$ .

Главное преимущество новой схемы – это то обстоятельство, что металлический проводящий корпус ЭВН не является больше нулевой точкой «звезды» фазных сопротивлений нагрузки и, во-вторых, нулевые электроды



Таблица 2.2 – Водонагреватели со схемой соединения нагрузок  $\Delta/\Delta$

Параметры	Ед. изм.	Тип водонагревателя						
		ЭВН-6/9		ЭВН-16		ЭВН-25	ЭВН-60	
		корпус не изолирован	корпус изолирован	корпус не изолирован	корпус изолирован	корпус изолирован	корпус не изолирован	корпус изолирован
$R_{\text{ЭКВ.СР}}$	Ом	100	100	68,3	68,3	43	18,3	18,3
$r_{\text{ЭКВ.СР}}$	Ом	66,6	182	30,5	84,6	189	12	26
$K_{\text{ЗВ}}$		0,5	0,11	1,45	0,18	0,04	0,5	0,15

Таблица 2.3 – Водонагреватели со схемой соединения нагрузок  $\Delta$  и  $\Delta/\Delta$

Параметры	Ед. изм.	Тип водонагревателя				
		ЭПЗ-100	ЭК-5	ЭК-16 ( $\Delta/\Delta$ )		ЭВ-2/4 (1 фазный)
		корпус изолирован	корпус пластмассовый	экранирующие нулевые электроды	диэлектрические экраны	корпус пластмассовый
$R_{\text{ЭКВ.СР}}$	Ом	3,6	70,5	23	68,3	12,2
$r_{\text{ЭКВ.СР}}$	Ом	1,8	-	1500	960	-
$K_{\text{ЗВ}}$		0,97	0	0,00026	0,012	0

Как видно из данных таблиц 2.2 и 2.3 для ЭВН с проводящим корпусом наиболее эффективным способом увеличения сопротивления выносу потенциала является установка разработанных нулевых электродов или диэлектрических перфорированных экранов, которые снижают величину  $K_{\text{ЗВ}}$  до 0,00026 и 0,012, т.е. ток к корпусу практически не протекает, так как сопротивление выносу потенциала возрастает в 5,0...7,9 раз по сравнению с наибольшим значением у ЭВН-25 с изолированным корпусом.

Потенциал на корпусе ЭВН зависит от коэффициента звездности, чем ниже  $K_{\text{ЗВ}}$ , тем меньше потенциал. Потенциал на технологическом оборудовании зависит от степени защиты от аварийных режимов – количества изолирующих вставок, повторного заземления, устройств выравнивания потенциалов.

Результаты исследований процесса выноса потенциала на корпус водонагревателей: ЭК-16 показаны в таблице 2.4. и серийного ЭВН-16 в таблице 2.5.

Данные позволяют сделать вывод о том, что у водонагревателя ЭВН-16 в аварийных режимах напряжение прикосновения на корпусе значительно выше допустимого – 110...210 В и даже после 2-х изолирующих вставок составляет 20...40 В. Следовательно, при эксплуатации ЭВН-16 в помещениях

с повышенной опасностью для защиты связанного с ними технологического оборудования необходимо дополнительно устанавливать устройство выравнивания потенциалов, обеспечивающее в аварийных режимах напряжение прикосновения не более 12 В.

При отсутствии такого устройства ЭВН должен иметь защиту от неполнофазных режимов. Однако оба эти способа защиты потребуют дополнительных затрат.

Таблица 2.4 – Напряжение прикосновения на корпусе ЭК-16 в нормальном и аварийном режимах работы

Режим	Напряжение, В			Ток, А			Напряжение прикосновения, $U_{ПР}$ , В	
	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	на корпусе	после изолирующей вставки <sup>1</sup>
Номинальный режим	375	375	375	24,5	24,5	24,5	0,15	0,1
Аварийные режимы								
Обрыв фазы А с занулением корпуса	210	375	210	0	24,5	24,5	0,2	0,15
Обрыв фаз А и В с занулением корпуса	0	0	0	0	0	0	0,2	0,15
Обрыв фазы А без зануления корпуса	186	375	186	0	20,5	20,5	0,3	0,2
Обрыв фаз А и В без зануления корпуса	0	0	0	0	0	0	0,3	0,2
Обрыв нулевого провода	375	375	375	24,5	24,5	24,5	0,2	0,15

Результаты исследования ЭК-16, свидетельствуют, что при работе как в номинальном, так и в аварийных режимах напряжение прикосновения на корпусе значительно ниже допустимого – 0,15...0,3 В. Поэтому при эксплуатации ЭК-16 в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных дополнительные меры защиты от выноса потенциала не требуются.

Таблица 2.5 – Результаты исследования процесса выноса потенциала на корпус серийного ЭВН-16 в нормальном и аварийном режимах работы

Режим	Напряжение, В			Ток, А			Напряжение прикосновения, $U_{пр}$ , В		
	$U_{AB}$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$	на корпусе	после 1 изолирующей вставки	после 2 изолирующих вставок
Номинальный режим	375	375	375	24,5	24,5	24,5	0,3	0,2	0,15
<b>Аварийные режимы</b>									
Обрыв фазы А с занулением корпуса	204	375	204	0	27	27	0,4	0,2	0,15
Обрыв фаз А и В с занулением корпуса	0	0	0	0	0	0	0,3	0,25	0,2
Обрыв фазы А без зануления корпуса	181	375	181	0	20	20	110	80	20
Обрыв фаз А и В без зануления корпуса	0	0	0	0	0	0	210	150	40
Обрыв нулевого провода	375	375	375	24,5	24,5	24,5	0,35	0,25	0,2

## 2.5 Расчет аккумулятора теплоты для системы горячего водоснабжения молочного блока

Исходные данные:

Вместимость аккумулятора

Масса корпуса

Время нагрева

К.П.Д.

Температура воды

начальная

конечная

$$G_2 = 1300 \text{ кг}$$

$$M_K = 420 \text{ кг}$$

$$\tau_{AT} = 5 \text{ ч}$$

$$\eta_{AT} = 0,9$$

$$t'_2 = 10^\circ\text{C}$$

$$t''_2 = 70^\circ\text{C}$$



Температура воды на выходе из ЭВН	$t'_1 = 95^\circ\text{C}$
Площадь поверхности корпуса	$F_{\text{AT}} = 5,6 \text{ м}^2$
Диаметр труб теплообменника	
наружный	$d_2 = 0,0268 \text{ м}$
внутренний	$d_1 = 0,0212 \text{ м}$
Скорость воды в контуре	$\omega_1 = 0,07 \text{ м/с}$
Массовый расход греющего теплоносителя	$G_1 = 500 \text{ кг/ч}$
Кинематическая вязкость:	
1 теплоносителя	$\nu_1 = 0,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
2 теплоносителя	$\nu_2 = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
Коэффициент объемного расширения	$\beta_1 = 0,88 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$
Теплопроводность:	
1 теплоносителя	$\lambda_1 = 2,45 \text{ кДж/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C}$
2 теплоносителя	$\lambda_2 = 2,06 \text{ кДж/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C}$
слоя накипи	$\lambda_{\text{НАК}} = 8,38 \text{ кДж/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C}$
стальной стенки	$\lambda_{\text{СТ}} = 60 \text{ Вт/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C}$
теплоизоляции	$\lambda_{\text{И}} = 0,058 \text{ Вт/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C}$
трубок теплообменника	$\lambda_{\text{СТ}} = 209,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C}$
Теплоемкость:	
воды	$C_1 = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$
стали корпуса	$C_c = 0,46 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$
Толщина:	
стенки аккумулятора	$\delta_{\text{К}} = 0,005 \text{ м}$
стенки труб теплообменника	$\delta_{\text{С}} = 0,0028 \text{ м}$
кожуха	$\delta_{\text{С}} = 0,001 \text{ м}$
изоляции тепловой	$\delta_{\text{П}} = 0,1 \text{ м}$
Коэффициент теплоотдачи:	
от воды к корпусу	$\alpha_3 = 0,83 \text{ Вт/м}^2$
от кожуха к воздуху	$\alpha_4 = 10,5 \text{ Вт/м}^2$

*Расчет аккумулятора теплоты для СГВ*

Определяется критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_1} = \frac{0,07 \cdot 0,0212}{0,31 \cdot 10^{-6}} = 4650.$$

Значение  $Re > 2300$ , следовательно, движение воды в трубах теплообменника турбулентное.

Критерий Нуссельта при турбулентном движении 1 теплоносителя:

$$N_{u1} = 0,0263 Re^{0,8} Pr^{0,4} = 0,0263 \cdot 4650^{0,8} \cdot 1,85^{0,4} = 26,4.$$

Критерий Нуссельта при свободном движении 2 теплоносителя у горизонтальных трубок теплообменника:

$$N_{u2} = C(Gr \cdot Pr)_m^n = 0,525 (807,5 \cdot 10^3 \cdot 9,5)^{0,25} = 27,6.$$

Критерий Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta_1 g d_2^3 \Delta t n}{\nu_2^2} = \frac{0,88 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 \cdot 0,0268^3 \cdot 83,2}{(1,3 \cdot 10^{-6})^2} = 807,5 \cdot 10^3.$$

Коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя:

$$\alpha_1 = \frac{N_{u1} \lambda_1}{d_1} = \frac{26,4 \cdot 2,45}{0,0212} = 3061 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}.$$

Теплоотдача от стенки трубки теплообменника к нагреваемому теплоносителю:

$$\alpha_{21} = \frac{N_{u2} \lambda_2}{d_2} = \frac{27,6 \cdot 2,06}{0,0268} = 2121,5 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}.$$

Средняя температура нагреваемого теплоносителя:

$$t_{2CP} = t'_1 - \Delta t_{12} = t'_1 - \frac{t''_2 - t'_2}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2}} = 95 - \frac{70 - 10}{\ln \frac{95 - 10}{95 - 70}} = 46 \text{ °C}.$$

Удельная производительность:

$$K_{TO} F = G_1 C_1 \ln \frac{1}{1 - \frac{G_2 C_2}{G_1 C_1 \tau_{FN}} \ln \frac{t'_1 - t'_2}{t'_1 - t''_2}} =$$

$$= 500 \cdot 4,19 \ln \frac{1}{1 - \frac{1300 \cdot 4,19}{500 \cdot 4,19 \cdot 5} \ln \frac{95 - 10}{95 - 70}} = 1402,5 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Температура греющего теплоносителя на выходе из бойлера-теплоаккумулятора:

$$t''_1 = t_{2CP} + (t'_1 - t_{2CP}) \exp\left(-\frac{K_T F}{G_1 C_1}\right) = 46 + (95 - 46) \exp\left(-\frac{1402,5}{500 \cdot 4,19}\right) = 71,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Значение кинематической вязкости греющего теплоносителя  $\nu_1$  принимается при средней температуре:

$$t_{1CP} = \frac{t'_1 + t_{2CP}}{2} = \frac{71,7 + 46}{2} = 58,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура стенки трубки теплообменника:

$$t_{CT} = \frac{t_{2CP} + t_{1CP}}{2} = \frac{46 + 58,8}{2} = 52,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Разность температур между стенкой трубки и 2 теплоносителем:

$$\Delta t_{CT} = \frac{G_1 C_1 \Delta t'_1}{2 \pi \lambda_2 L} \ln \frac{d_2}{d_1} = \frac{500 \cdot 4,19 \cdot 23,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 2121,5 \cdot 1,5} \ln \frac{0,0268}{0,0212} = 1,8 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $L$  – длина трубок теплообменника,  $L = 1,5$  м;  
 $\Delta t'_1$  – перепад температур 1 теплоносителя на входе и выходе из теплообменника.

Коэффициент теплопередачи теплообменника:

$$K_{TO} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_{CT}} \cdot \frac{d_2}{d_1} + \frac{\delta_{НАК}}{\lambda_{НАК}} + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{d}{d_1}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{3061,2} + \frac{0,0028}{209,5} \cdot \frac{0,0268}{0,0212} + \frac{0,00055}{8,38} + \frac{1}{2121,5} \cdot \frac{0,0268}{0,0212}} = 1068 \text{ кДж/м}^2.$$

Значение усредненного температурного напора по поверхности теплообмена:

$$\bar{\Delta t} = \frac{t'_1 - t''_1}{\ln \frac{t'_1 - t_{2ВХ}}{t''_1 - t_{2ВЫХ}}} = \frac{95 - 71,7}{\ln \frac{95 - 70}{71,7 - 67}} = 13,9 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $t_{2BX}$  – температура 2 теплоносителя во входном сечении, °С;  
 $t_{2BЫX}$  – температура 2 теплоносителя в выходном сечении, °С.

Определим площадь поверхности теплообмена:

$$F_{TO} = \frac{(G_2 C_2 + M_K M_{CK})(t_2'' - t_2')}{K_{TO} \Delta t \tau_{AT}} = \frac{(1300 \cdot 4,19 + 420 \cdot 0,46)(70 - 10)}{1068 \cdot 13,9 \cdot 5} = 4,56 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи от наружной поверхности аккумулятора теплоты в окружающую среду:

$$K_{AT} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_K}{\lambda_C} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_C}{\lambda_C} + \frac{1}{\alpha_4}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,83} + \frac{0,005}{60} + \frac{0,1}{0,058} + \frac{0,001}{60} + \frac{1}{10,5}} = 0,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

Коэффициент  $B_2$ :

$$B_2 = e \frac{K_{TO} F_{TO}}{G_1 C_1} = e \frac{10683,53}{5004,19} = 6,02.$$

Постоянная времени аккумулятора теплоты:

$$T_2 = \frac{B_2 (G_2 C_2 + M_K C_c)}{G_1 C_1 (B_2 + 1)} = \frac{6,02 (1300 \cdot 4,19 + 420 \cdot 0,46)}{500 \cdot 4,19 (6,02 + 1)} = 2,3.$$

Время нагрева воды в аккумуляторе теплоты до заданной температуры:

$$\tau_{AT} = T_2 \ln \frac{t_2'' - t_1' [(B_2 - 1) / (B_2 + 1)]}{t_2'' - t_1' [(B_2 - 1) / (B_2 + 1)]} = 2,3 \ln \frac{10 - 95 \frac{6,02 - 1}{6,02 + 1}}{70 - 95 \frac{6,02 - 1}{6,02 + 1}} = 7,5.$$

Мощность водонагревателя для системы горячего водоснабжения:

$$P_{CTB} = \frac{G_2 C_2 (t_2'' - t_2')}{3600 \eta \eta_{AT} \tau'_{AT}} = \frac{1300 \cdot 4,19 (70 - 10)}{3600 \cdot 0,99 \cdot 0,9 \cdot 7,5} = 13,8 \text{ кВт}.$$

## 2.6 Расчет системы отопления помещений молочного блока

Исходные данные:

Площадь помещений молочного блока	72 м <sup>2</sup>
Высота помещений	h = 2,8 м
Объем помещений	V = 576 м <sup>3</sup>
Площадь теплоотдающей поверхности помещений	S <sub>T</sub> = 173 м <sup>2</sup>
Среднегодовая температура для южной зоны РК	t <sub>OT</sub> = - 4°С
Температура в помещениях	t <sub>BH</sub> = 18°С
Расход теплоносителя в контуре	G <sub>3</sub> = 300 кг/ч
Продолжительность отопительного периода для южной зоны	τ <sub>OT</sub> = 165 сут.
Коэффициент теплопередачи в окружающую среду	K <sub>T</sub> = 0,58 Вт/м <sup>2</sup> С
Удельная тепловая мощность радиаторов отопления	P <sub>уд</sub> = 0,506 Т/ЭКМ
Поверхность нагрева одной секции для радиаторов	S <sub>уд</sub> = 0,31 ЭКМ
Перепад температуры в радиаторе	Δt <sub>PO</sub> = 10°С
Диаметр труб	d <sub>TP</sub> = 0,02 м
Удельные теплотери здания	q <sub>o</sub> = 0,7 кДж/м <sup>3</sup> ·°С
Удельная теплоемкость воздуха	C <sub>B</sub> = 1,0042 кДж/кг·°С
Плотность воздуха при +18°С	ρ <sub>B</sub> = 1,89 кг/м <sup>3</sup>
Толщина стенки радиаторов отопления	δ <sub>C1</sub> = 0,003 м
Коэффициенты теплоотдачи	α <sub>5</sub> = 3051 Вт/м <sup>2</sup> ·°С α <sub>6</sub> = 37,8 Вт/м <sup>2</sup> ·°С

*Расчет системы отопления*

Тепловая мощность системы отопления:

$$P_{CO} = \frac{V [\rho_B C_B (t_{BH} - t_{OT}) + q_o (t_{BH} - t_{OT})]}{3600 \eta} = \frac{576 (1,89 \cdot 1,0042 \cdot 2 + 0,7 \cdot 22)}{3600 \cdot 0,99} = 9,2 \text{ кВт.}$$

Разность температур внутри помещений и окружающей среды:

$$\Delta t_{CO} = t_{BH} - t_{OT} = 18 - (-4) = 22 \text{ °С.}$$

Разность температур между стояком и внутренним воздухом:

$$\Delta t_{CT} = t'_1 - t_{BH} = 95 - 18 = 77 \text{ °С.}$$

По номограмме находим теплоотдачу труб P<sub>TP</sub> = 2,5 кВт.

Теплоотдача радиатору отопления:

$$P_{PO} = P_{CO} - P_{TP} = 9,2 - 2,5 = 6,7 \text{ кВт.}$$

Общая площадь поверхности нагрева радиаторов:

$$S_{PO} = \frac{P_{PO}}{P_{y0}} = \frac{6,7}{0,506} = 13,3 \text{ м.}$$

Количество радиаторов:

$$n_{PO} = \frac{S_{PO}}{S_{y0}} = \frac{13,3}{0,31} = 43 \text{ шт.}$$

Принимаем 7 радиаторов отопления М-140 по 6 секций каждый, общая площадь поверхности  $S_{CO} = 18,8$  м.

Коэффициент теплопередачи системы отопления:

$$K_{CO} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_5} + \frac{\delta_{C1}}{\lambda_C} + \frac{1}{\alpha_6}} = \frac{1}{\frac{1}{3051} + \frac{0,003}{209,5} + \frac{1}{37,8}} = 37,7 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{°C.}$$

Коэффициент  $B_2$ :

$$B_2 = e^{\frac{K_{CO} S_{CO}}{G_3 C_1}} = e^{\frac{32,7 \cdot 18,8}{300 \cdot 4,19}} = 1,75.$$

Постоянная времени системы отопления:

$$T_{CO} = \frac{B_2 V (\rho_B C_B + q_O)}{G_3 C_1 (B_2 + 1)} = \frac{1,75 \cdot 576 (1,89 \cdot 1,0042 + 0,7)}{300 \cdot 4,19 (1,75 + 1)} = 0,75.$$

Установившаяся температура в помещениях:

$$t_{уст} = t_{OT} + \frac{P_{COM}}{3,6 K_T S_T} = (-4) + \frac{9200}{3,6 \cdot 0,58 \cdot 173} = 21,5 \text{ °C.}$$

Время нагрева обогреваемых помещений до установившейся температуры:

$$\tau'_{CO} = T_{CO} \ln \frac{t_{уст} - t_{om}}{t_{уст} - t_{BH}} = 0,75 \ln \frac{21,5 - (-4)}{21,5 - 18} = 1,49 \text{ ч.}$$

## **2.8 Разработка энергосберегающей технологии электротеплоснабжения молочного блока**

Наиболее крупными потребителями горячей воды в АПК операцию колеблется от 0,33 до 5,34 литра на голову, а на один цикл доения расходуется являются молочные фермы, где суточный расход на одну технологическую от 17,2 до 4536 литров горячей воды с температурой 70°C в зависимости от типоразмера фермы и уровня механизации технологических процессов (таблица 2.8).

Технологическими, зооветеринарными и санитарными требованиями определяются нормы расхода горячей воды на производственные операции, связанные с технологией доения и содержания животных, а технологическими картами задаются суточные почасовые графики расхода горячей воды и пара.

Однако проведенный нами анализ данных различных авторов по нормам расхода горячей воды на санитарный уход за доильными оборудованием показывает значительные расхождения по некоторым пунктам. Это объясняется различным методическим подходом. В таблице 2.7 приводится сравнение расхода горячей воды на примере молочного блока на 400 голов.

Анализ данных таблицы показывает, что на одно доение расход горячей воды смешанной до различной температуры составляет по данным И.И.Архангельского 1660 л [10], по данным И.Ф.Кудрявцева – 2693 л [3], по полученным в КазНИИМЭСХ результатам испытаний – 2200 л. Следовательно, можно сделать вывод, что И.И.Архангельским предложена наиболее экономичная технология санитарного ухода за доильным оборудованием.

Хозяйственные испытания показали высокую энергоемкость процессов горячего водоснабжения технологических операций при обслуживании оборудования молочного блока, что вызывает необходимость поиска новых технологических подходов к решению проблемы энергосбережения.

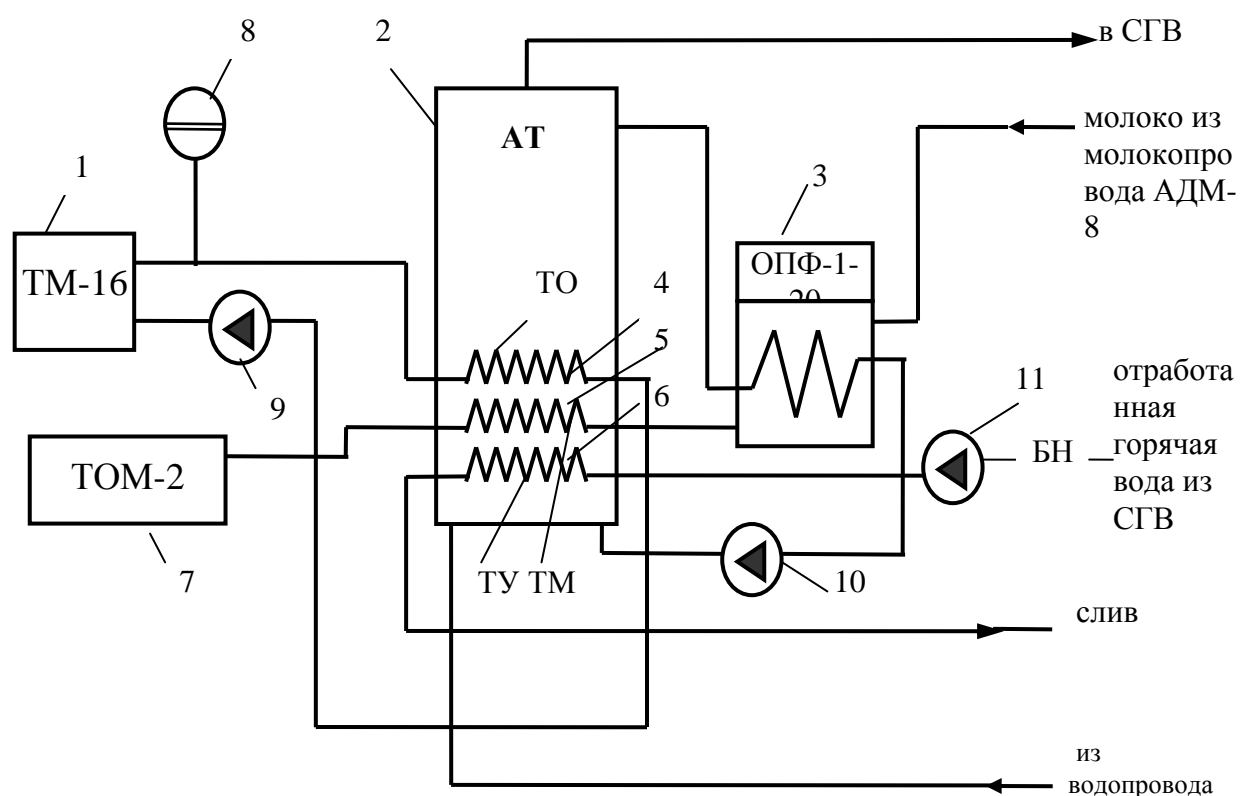
В качестве одного из решений предлагается энергосберегающая технология теплоснабжения молочного блока, основанная на утилизации теплоты потоков пастеризованного молока и отработанной горячей воды.

Технологическая схема энергосберегающей технологии теплоснабжения молочного блока показана на рисунке 2.13. Принцип работы технологической схемы заключается в следующем.

Горячая вода из теплоаккумулятора 2 подается насосом 10 в водяной контур пастеризатора 3. Парное молоко, поступающее по магистрали молокопровода доильной установки АДМ-8 попадает в пастеризатор 3 и, далее, подается в контур жидкостного теплообменника 5. В процессе теплообмена потока горячего молока с холодной водой, находящейся в нижней зоне теплоаккумулятора 2 происходит нагрев ее за счет теплоты молока. После этого охлажденное молоко поступает в танк-охладитель молока 7, где продолжает оставаться до окончания процесса доения коров.

Таблица 2.8 – Сравнение норм расхода горячей воды на санитарный уход за доильным оборудованием с результатами хозяйственных испытаний с доильной установкой АДМ-8

Процесс (операция)	Расход горячей воды, л.		
	по И.Ф. Кудрявцеву	по И.И. Архангельскому	по результатам испытаний КазНИИМЭСХ
Подмывание вымени	400	400	400
Мытье доильных ведер	40	35	40
Мытье фляг	220	45	80
Промывка молокопроводов	584	600	600
Мытье доильных аппаратов	712	300	400
Мытье пастеризатора	68	60	80
Мытье молочных танков	400	80	200
Промывка оборудования	196	60	100
Промывка молочной автоцистерны	73	80	120
Всего на 1 доение	2693	1660	2200
Суточный расход, л/гол	20,2	12,45	16,5



1 – электроводонагреватель ЭВН – 25; 2 – аккумулятор горячей воды;  
3 – пастеризатор молока; 4, 5, 6 – теплообменники ТО, ТУ, ТМ; 7 – танк-охладитель молока; 8 – расширительный бак; 9, 10, 11 – насосы циркуляционные.

Рисунок 2.13 – Технологическая схема утилизации теплоты в доильно-молочном блоке коровника



Поток отработанной горячей воды с температурой 32...40°C после выполнения технологических операций подается насосом 11 в теплообменник 6, где также отдает теплоту холодной воде в нижней зоне теплоаккумулятора 2, после чего сливается в канализацию. Холодная вода из водопровода, предварительно подогретая в нижней зоне теплоаккумулятора 2 теплообменниками 5 и 6, за счет конвекции поднимается в зону нагрева от теплообменника 4, где нагревается до заданной температуры.

Об эффективности энергосберегающей технологии говорит зависимость расхода электрической энергии, затрачиваемой на нагрев воды в теплоаккумуляторе, от объемов утилизации теплоты горячей пастеризованного молока и отработанной горячей воды, рассчитанная для поголовья от 50 до 400 голов (рисунок 2.14).

Обозначения линии на рисунке 2.14,  $A_1$  – затраты электроэнергии при работе СЭТ без утилизации теплоты;  $A_2$  – затраты электроэнергии при утилизации теплоты отработанной горячей воды;  $A_3$  – затраты электроэнергии при утилизации теплоты отработанной воды пастеризованного молока.

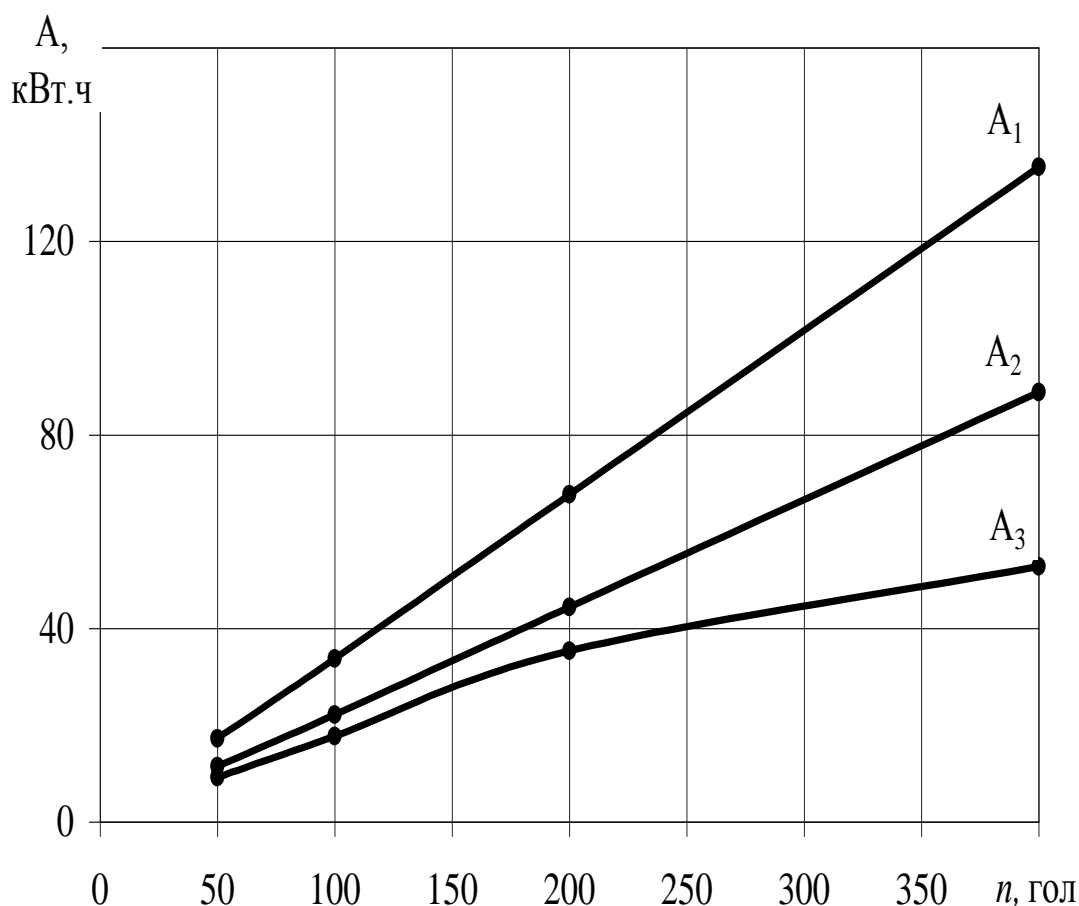


Рисунок 2.14 – Зависимость расхода электрической энергии на нагрев воды для технологических нужд молочного блока от обслуживаемого поголовья

При энергосберегающей технологии номинальная мощность электродного водонагревателя определяется по объему теплоаккумулятора АТ и расходам отработанной воды и пастеризованного молока:

$$P = \frac{Q_{AKK} - (Q_1 \cdot \eta_2 + Q_2 \cdot \eta_3)}{3600 \eta_1 \eta_4} = \frac{251400 - (24192 + 16848)}{3600 \cdot 0,99 \cdot 0,9} = 13,1 \text{ кВт},$$

где  $Q_{AKK}$  – требуемое количество теплоты на нагрев теплоаккумулятора, кДж;

$\eta_1; \eta_2; \eta_3; \eta_4$  – к.п.д., соответственно, водонагревателя и теплообменников 4; 5; 6;

$Q_1$  – количество теплоты, полученное от отработанной воды в теплообменнике 5, кДж ( $m_1 = 600$  л);

$Q_2$  – количество теплоты, полученное от пастеризованного молока в теплообменнике 6, кДж ( $m_2 = 200$  л).

$$Q_1 = 600 \cdot 4,19 \cdot (32 - 20) \cdot 0,8 = 24192 \text{ кДж};$$

$$Q_2 = 200 \cdot 3,9 \cdot (47 - 20) \cdot 0,8 = 16848 \text{ кДж}.$$

Таким образом, работа теплового модуля ТМ-16 по энергосберегающей технологии позволяет снизить его номинальную мощность до 16 кВт, а расход электрической энергии на 34%, например, в молочном блоке на 200 коров он снижается с 67,7 до 44,4 кВт.ч на одно доение при утилизации теплоты отработанной воды и на 47% (с 67,7 до 35,4 кВт.ч) при дополнительной утилизации теплоты пастеризованного молока.

Согласно исследованиям ВИЭСХ внедрение систем децентрализованного электротеплоснабжения снижает энергозатраты на 20...30%, что соответствует полученным результатам.

### 3 Расчет режимов работы системы горячего водоснабжения

Расчеты проводились для следующих режимов работы: отопление производственных помещений и нагрев воды в аккумуляторе теплоты для системы горячего водоснабжения.

Средний суточный расход электроэнергии на отопление помещений площадью  $73,2 \text{ м}^2$  колеблется в пределах  $89,2 \dots 149,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  при изменении температуры наружного воздуха от  $0$  до  $-20^\circ\text{C}$ , при этом обеспечиваются требуемые параметры микроклимата. Динамика изменения температур теплоносителей в системе отопления показана на рисунке 3.1. Как показывает анализ зависимостей, при температуре наружного воздуха  $-5^\circ\text{C}$  разогрев системы до установившегося режима происходит за  $1,83 \text{ ч}$ , градиент температуры на входе и выходе из системы находится в интервале  $9 \dots 16^\circ\text{C}$ , расход электроэнергии –  $20,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ .

Динамика изменения температур теплоносителей в аккумуляторе теплоты приведена на рисунке 3.1 анализ зависимостей говорит о том, что время нагрева воды в АТ до заданной температуры  $70^\circ\text{C}$  составляет  $10,5 \text{ ч}$  при термосифонной циркуляции, при работе циркуляционного насоса производительностью  $1,84 \text{ м}^3/\text{ч}$  –  $13,8 \text{ ч}$  и при параллельном подключении к АТ двух модулей –  $6,6 \text{ ч}$ , что соответствует длительности ночных провалов графиков нагрузок энергосистем.

На рисунке 3.1 приводятся сезонный и интегральный графики расхода электроэнергии за отопительный период ( $165$  дней).

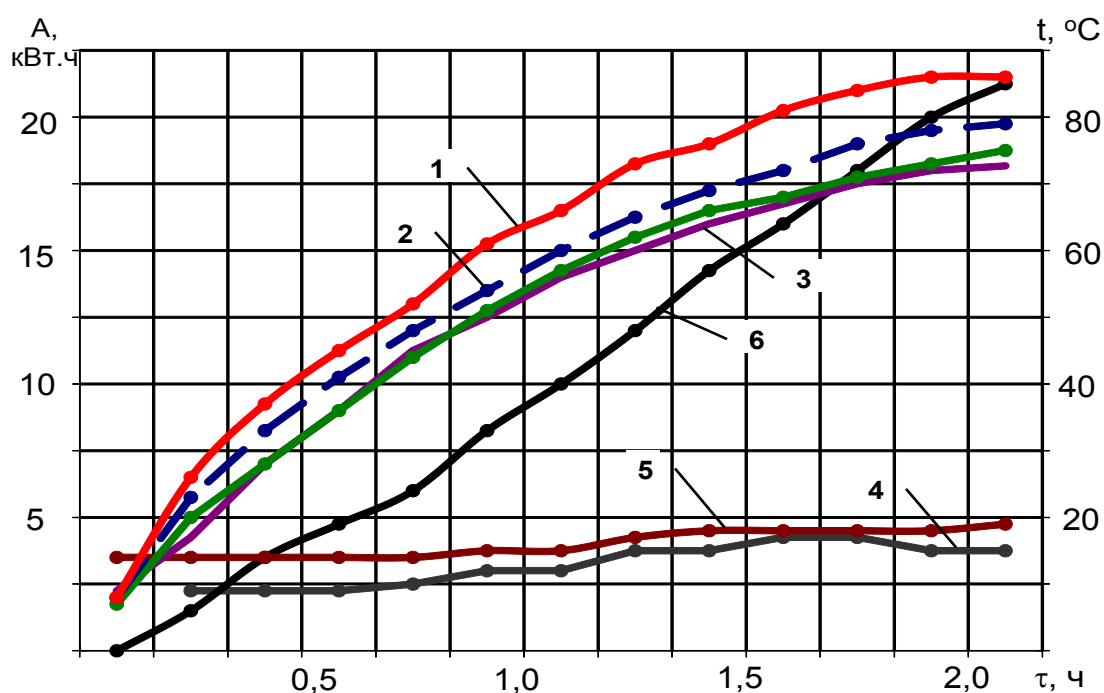


Рисунок 3.1 – Динамика изменения температур теплоносителей в системе отопления при температуре наружного воздуха  $t_{\text{нар}} = -5^\circ\text{C}$

Обозначения линии по рисунку 3.1.:

- 1 – температура на выходе из ЭВН  $t_{\text{ВЫХ}}$ ;
- 2 – температура в радиаторе СОМ  $t_{\text{РО}}$ ;
- 3 – температура на входе в ЭВН  $t_{\text{ВХ}}$ ;
- 4 – температурный градиент  $\Delta t_{\text{СОМ}}$ ;
- 5 – температура внутри помещений  $t_{\text{ВН}}$ ;
- 6 – расход электроэнергии  $A$ ;
- - - - - теоретическая зависимость.

Как видим, максимум отопительной нагрузки наступает в январе и составляет 4603 кВт.ч, а расход электроэнергии за сезон (165 дней) – 18109 кВт.ч.

Градиент температуры на входе и выходе из ТО колеблется в интервале 6...8°C, расход электроэнергии при принудительной циркуляции – 221 кВт.ч, усредненный температурный напор на поверхности теплообмена - 9°C.

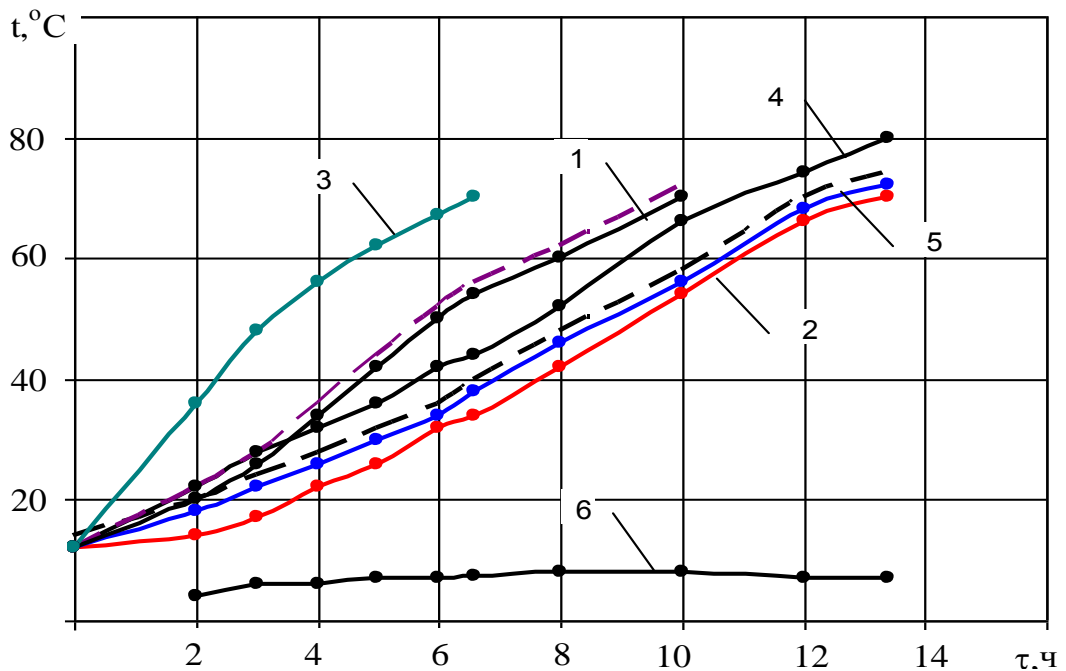
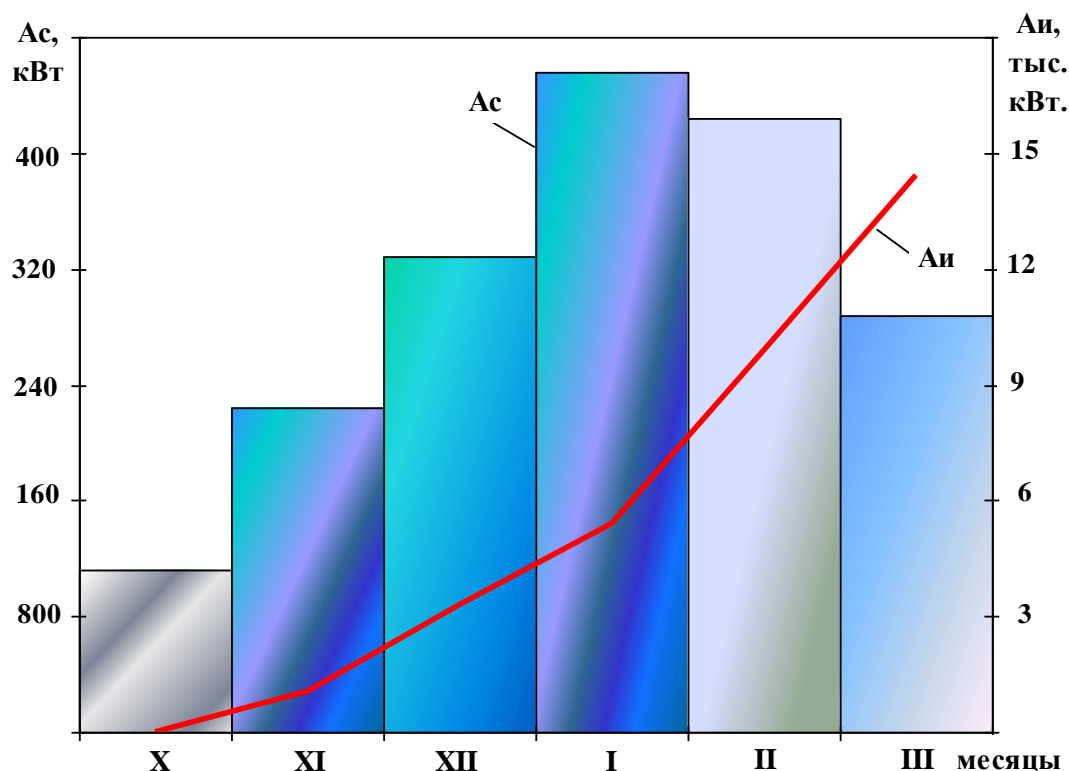


Рисунок 3.2 – Динамика изменения температур теплоносителей в АТ в различных режимах работы

На рисунке 3.2 показаны:

- 1 – температура в АТ при естественной циркуляции  $t_{\text{АТ}}$ ;
- 2 – температура в АТ при принудительной циркуляции  $t_{\text{АТ}}$ ;
- 3 – температура в АТ при подключении двух тепловых модулей;
- 4, 5 – температура воды на входе  $t''_{\text{ВХ}}$  и выходе из теплообменника  $t''_{\text{ВЫХ}}$ ;
- 6 – температурный градиент  $\Delta t'_{\text{ТО}}$
- – теоретические зависимости.



$A_c$  – сезонный график расхода электроэнергии;

$A_i$  – интегральный график расхода электроэнергии.

Рисунок 3.3 – Сезонный и интегральный графики расхода электроэнергии при работе СЭТ с электроводонагревателем за отопительный период

Таким образом, в результате испытаний определены основные параметры оборудования СЭТ в различных режимах работы в течение отопительного сезона в интервале температуры наружного воздуха  $0^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$ .

Возросшие требования к теплогенерирующему оборудованию, сложность и многообразие технологических процессов, систем и технических средств требуют создания в коровниках единого методического подхода при построении систем электротеплообеспечения. Следовательно назрела необходимость в разработке электродных водонагревателей нового поколения с оптимальными параметрами и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

#### 4 Теплогидравлический расчет двухтрубной системы отопления

Принимаем согласно ОСТ 70.31.1-83 степень нагрева в ЭВН воды равной 25°C (температура горячей воды на выходе – 95°C, на входе – 70°C). По расчетной теплоотдаче нагревательных приборов определяем тепловые нагрузки на расчетные участки. Следует иметь в виду, что тепловые нагрузки на участок показывают по существу не количество тепла, а расход теплоносителей, который обеспечивает для нагревательных приборов подвод расчетного количества тепла. Поэтому на участках отводящих охлажденную воду от нагревательных приборов, принимаем то же количество тепла, что и на подающих трубопроводах.

Расход теплоносителя на расчетных участках системы:

$$\sigma = \frac{Q}{C \cdot \Delta t} = \frac{6750}{4,15 \cdot 25} = 64,4 \text{ кг/ч},$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка участка;

$C = 4,19$  кДж/ч – теплоемкость теплоносителя;

$\Delta t = 25^\circ\text{C}$  – расчетная степень нагрева воды в системе отопления.

Скорость движения в трубопроводах:

$$R = \frac{4 \cdot \sigma \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot d^2 \cdot 3600} = \frac{4 \cdot 64,4 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,015^2 \cdot 3600} = 0,1 \text{ м/с}.$$

Удельные потери на трение:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{V^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g} = \frac{41 \cdot 10^{-3}}{0,015} \cdot 0,1 \cdot \frac{983,25}{2 \cdot 9,8} = 1,36 \text{ кг/м}^2,$$

где  $\lambda = 41 \cdot 10^{-3}$  – коэффициент трения жидкости о стенки трубопровода;

$\gamma = 983,25$  кг/м<sup>3</sup> – объемная масса теплоносителя.

Подсчитываем суммы коэффициентов местных сопротивлений на отдельных участках. Имея в виду, что местное сопротивление на границе двух участков (сопротивление тройников на проход и на противоток и на ответвление) относятся к участкам с меньшей нагрузкой.

Все вычисления заносим в таблицу 4.1.

Так же вычисления по расчетам циркуляционного насоса кольца, проходящего через аккумулятор теплоты АТ на участке 14, заносим в таблицу 4.2.

Таблица 4.1 Расчет циркуляционного кольца, проходящего через радиатор №1

№ участка	Тепловая нагрузка, кДж/ч	Нагрузка G, кг/ч	Длина, l, м	Данные расчета					
				d, мм	V, м/с	R, кг/м <sup>2</sup> ·м	RI, кг/м <sup>2</sup>	Σε	Z, кг/м <sup>3</sup>
1	6750	64,4	6	15	0,1	1,36	8,16	3	1,5
2	20970	200	1,7	20	0,18	3,3	5,6	3	4,86
3	27720	265,3	2,5	20	0,23	5,42	13,5	3	7,9
4	34500	330,1	2,2	20	0,29	8,6	18,9	3	12,6
5	41250	390,7	2,0	20	0,35	12,5	25	3	18,3
6	48000	459,3	5,6	20	0,1	16,4	91,8	4,25	36
7	90000	861,2	2,0	20	0,76	59,2	118,4	5,75	161,1
8	48000	459,3	5,6	20	0,4	16,4	91,8	3	36
9	41250	394,7	2,0	20	0,35	12,5	25	3	18,3
10	34500	330,1	2,2	20	0,29	8,6	18,9	3	12,6
11	27720	365,3	4,5	20	0,23	5,42	24,39	5	13,2
12	20970	200	11,7	20	0,18	3,3	38,6	7	11,3
13	6750	64,4	2,5	15	0,1	1,36	3,4	6,5	3,25
Итого							483,5	–	342

Таблица 4.2 Расчет циркуляционного насоса кольца, проходящего через аккумулятор теплоты АТ (участок 14)

Тепловая нагрузка, кДж/ч	Нагрузка G, кг/ч	Длина, l, м	Данные расчета					
			d, мм	V, м/с	R, кг/м <sup>2</sup> ·м	RI, кг/м <sup>2</sup>	Σε	Z, кг/м <sup>3</sup>
42000	401	20	20	0,35	12,6	252	4,25	26,8

$$\Sigma (R l + Z)_{14} = (252 + 26,8) = 278 \text{ кг/м}^2.$$

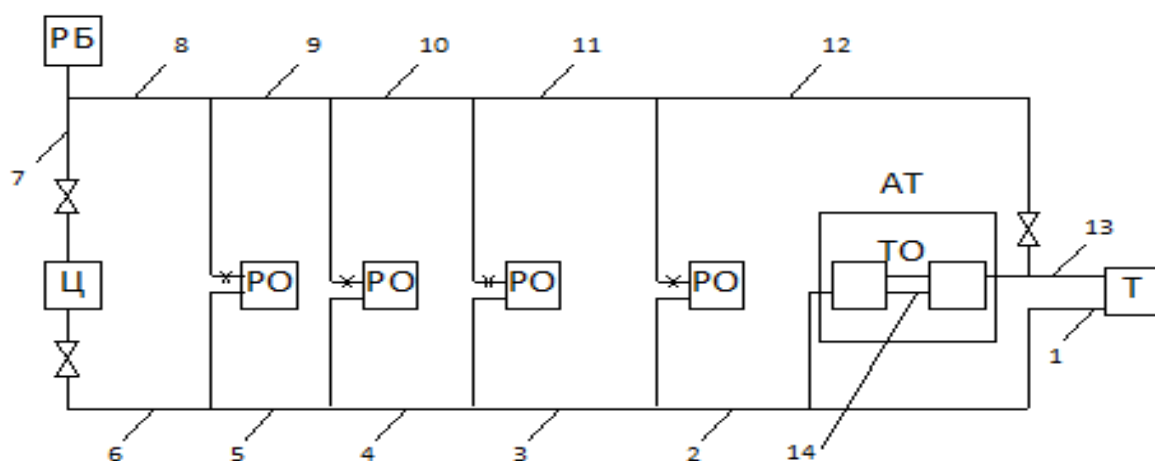
Общая потеря давления в трубопроводах:

$$\Sigma (R l + Z)_{1-13} = (825,5 + 278) = 1103,5 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем потери давления в местных сопротивлениях:

$$Z = 50 \Sigma \xi v^2 = 50 \cdot 3 \cdot 0,1^2 = 1,5 \text{ кг/м}^3.$$

Расчетная схема системы водяного отопления помещений молочного блока показана на рисунке 4.1.



РБ – расширительный бачок; ЦН – циркуляционный насос; РО – радиаторы отопления; АТ – аккумулятор теплоты; ТО – теплообменник; ТМ - тепловой модуль; 1-13 – номера участков.

Рисунок 4.1 – Расчетная схема водяной двухтрубной системы отопления помещений молочного блока

На участке 2 отвод под  $90^\circ$ ;  $d = 20$  мм;  $\varepsilon = 1$ ; два тройника на проход теплоносителя  $\xi = 2$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 3, тройник на противотоке  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 4, тройник на противотоке  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 5, тройник на противотоке  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ ;

На участке 6, тройник на поворот теплоносителя  $\xi = 1,5$ , отвод под  $90^\circ$ ;  $d = 20$  мм,  $\xi = 1$ , запорная арматура  $\xi = 0,5$ . половина водонагревателя (сопротивление на вход теплоносителя)  $\xi = 1,25$ ,  $\Sigma\xi = 4,25$ ;

На участке 7 половина котла (сопротивление на выход)  $\xi = 1,25$ , отвод под  $90^\circ$ ;  $d = 20$  мм,  $\xi = 1$ , задвижка  $\xi = 0,5$ , тройник на противоток  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 5,75$ .

На участке 8 тройник на повороте  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ .

На участке 9 тройник на повороте  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ .

На участке 10 тройник на повороте  $\xi = 3$ ,  $\Sigma\xi = 3$ .

На участке 11 тройник на повороте  $\xi = 3$  и два поворота под углом  $90^\circ$ ;  $\xi = 2$ ,  $\Sigma\xi = 5$ .

На участке 12 тройник на повороте  $\xi = 3$  и четыре поворота под углом  $90^\circ$ ;  $\xi = 4$ ,  $\Sigma\xi = 7$ .

На участке 13 тройник на повороте  $\xi = 1,5$ , кран двойной регулировки  $d = 15$  мм,  $\xi = 4$ , половина радиатора (имеется в виду вход в нагревательный прибор)  $\xi = 1$ ,  $\Sigma\xi = 6,5$ .



## 5 Экономическая часть

### 5.1 Расчет потребности фермы в тепловой энергии

Технологические процессы, потребляющие тепловую энергию – горячее водоснабжение, создание микроклимата (отопление, подогрев приточного воздуха). В этом разделе определяются годовые потребности в тепловой энергии.

Годовой расход тепла для каждой операции процесса горячего водоснабжения определяется по формуле:

$$Q_1 = m_1 \cdot c \cdot (t_{ГВ} - t_{ХВ}) \cdot 350 = 65 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (12 - 10) \cdot 350 = 9,1 \text{ Гкал/год},$$

где  $m$  – суточный расход горячей воды 1-й операции, 65 л/сут на голову КРС;

$c$  – удельная теплоемкость воды, 1 ккал/кг;

$t_{ГВ}, t_{ХВ}$  – температура горячей и холодной воды (10°C) °C;

350 – число дней нахождения дойных коров на ферме в год.

Годовой расход тепла на кормоприготовление (запарка кормов) определяется по аналогичной формуле:

$$Q_{кп} = K_k \cdot C_k \cdot (t_n \cdot t_k) \cdot 350 = 3 \cdot 200 \cdot 0,86 \cdot (90 - 20) \cdot 350 = 12,6 \text{ ккал/год},$$

где  $K$  – количество запариваемого картофельного корма = 3 кг/сут;

$C$  – теплоемкость картофельного корма = 0,86 ккал/кг;

$t_n; t_k$  – начальная и конечная температура запариваемого корма, 90-20 °C;

350 – число дней нахождения дойных коров на ферме в год.

$$Q_{кп} = K_c \cdot C_c \cdot (t_n \cdot t_k) \cdot 350 = 3 \cdot 200 \cdot 0,9 \cdot (90 - 20) \cdot 350 = 13,23 \text{ ккал/год},$$

где  $K$  – количество запариваемого свекольного корма = 3 кг/сут;

$C$  – теплоемкость свекольного корма = 0,9 ккал/кг.

$$Q_{кп} = K_c \cdot C_c \cdot (t_n \cdot t_k) \cdot 350 = 3 \cdot 200 \cdot 0,89 \cdot (90 - 20) \cdot 350 = 13 \text{ ккал/год},$$

где  $K$  – количество запариваемого морковного корма = 3 кг/сут;

$C$  – теплоемкость морковного корма = 0,89 ккал/кг.

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение практически не зависит от природно-климатических условий, а только от наличия технологических процессов потребления горячей воды.

Расход тепловой энергии на создание микроклимата  $Q_p$  определяется на основе уравнения теплового баланса животноводческого помещения:

$$Q_p = Q_T + Q_B + Q_{и} - Q_{ж}, \text{ ккал/час}, \quad (5.1)$$

где  $Q_T$  – теплопотери здания, ккал/ч;  
 $Q_B$  – расход тепла на подогрев приточного воздуха, ккал/ч;  
 $Q_{и}$  – расход тепла на испарение влаги со смоченных поверхностей, ккал/ч;  
 $Q_{ж}$  – количество свободной теплоты, выделяемой животными, ккал/ч.

Расчеты всех составляющих уравнения теплового баланса проводятся в пятиградусном интервале температур, без учета числа часов стояния температур наружного воздуха, т.е. определяются часовые нагрузки. Годовой расход тепла на покрытие теплопотерь здания покрывается за счет отопления, и определяется по формуле:

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-40) = -279,3 \text{ тыс. ккал/ч},$$

где  $q_0$  – удельная тепловая характеристика зданий, 0,25 ккал /м<sup>3</sup> ч С;  
 $a$  – коэффициент инфильтрации наружного воздуха, = 1,05;  
 $V_H$  – объем здания по наружному обмеру, 26600 м<sup>3</sup>;  
 $t_B$  – температура воздуха внутри помещений, С;  
 $t_{ср. от}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С.

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-35) = 244 \text{ тыс. ккал/ч};$$

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-30) = -209 \text{ тыс. ккал/ч};$$

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-25) = -174 \text{ тыс. ккал/ч};$$

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-20) = -139 \text{ тыс. ккал/ч};$$

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-15) = -104 \text{ тыс. ккал/ч};$$

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot (-10) = -69 \text{ тыс. ккал/ч};$$

$$Q_T = q_0 \cdot a \cdot V_H \cdot (t_B - t_{ср.от}) = 0,25 \cdot 1,05 \cdot 26,6 \cdot 5 = 34 \text{ тыс. ккал/ч}.$$

Расход тепла, необходимый для подогрева приточного воздуха зависит от его объема. Величина необходимого объема приточного воздуха определяется по влаге ( $L_B$ ) для животноводческих помещений.

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 0,3) \cdot 1,223} = 14,6 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $W$  – суммарное влаговыделение в помещении, г;

$d_B, d_H$  – влагосодержание внутреннего и приточного воздуха, г/м<sup>3</sup>.

$\Pi$  – плотность воздуха при  $t_B = 10^\circ\text{C}$  составляет 1,223 кг/м<sup>3</sup>

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 0,5) \cdot 1,223} = 15,2 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 0,6) \cdot 1,223} = 15,6 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 0,9) \cdot 1,223} = 16,7 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 1,3) \cdot 1,223} = 18 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 1,9) \cdot 1,223} = 19,2 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 2,5) \cdot 1,223} = 21,8 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$L = \frac{W}{(d_B - d_H) \cdot \Pi} = \frac{89,76}{(5,3 - 3,3) \cdot 1,223} = 34,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Величина влаговыделений в помещении  $W$  складывается из влаговыделений животных  $W_{ж}$  и испаренной влаги со смоченных поверхностей  $W_{и}$ , т.е.:

$$W = W_{ж} + W_{и} = 81,6 + 8,16 = 89,76;$$

$$W_{ж} = W_{ж}^0 \cdot n = 408 \cdot 200 = 81,6 \text{ тыс г/ч};$$

$$W_{и} = W_{ж} \cdot e = 81,6 \cdot 0,1 = 8,16 \text{ тыс г/ч},$$

где  $W_{ж}^0$  – свободное влаговыделение животных при  $t_B = 10^\circ\text{C}$ , г/ч;

$e$  – коэффициент, учитывающий испарение влаги со смоченных поверхностей, принимается (0,1 – 0,25);

$n$  – количество голов скота в помещении, 200 гол.

Расход тепла на подогрев приточного воздуха определяется из выражения:

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 14,6 \cdot 0,24 \cdot (-40) = -140 \text{ ккал/ч,}$$

где  $L_B$  – воздухообмен в помещении, м<sup>3</sup>/ч;

$c_B$  – теплоемкость воздуха при соответствующих значениях, 0,24 ккал/м<sup>3</sup> · °С;

$t_B, t_H$  – температура внутреннего (10) и наружного воздуха, °С.

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 15,2 \cdot 0,24 \cdot (-35) = -127,7 \text{ тыс. ккал/ч;}$$

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 15,6 \cdot 0,24 \cdot (-30) = -112,3 \text{ тыс. ккал/ч;}$$

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 16,7 \cdot 0,24 \cdot (-25) = -100,2 \text{ тыс. ккал/ч;}$$

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 18 \cdot 0,24 \cdot (-20) = -86,4 \text{ тыс. ккал/ч;}$$

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 19,2 \cdot 0,24 \cdot (-15) = -69,12 \text{ тыс. ккал/ч;}$$

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 21,8 \cdot 0,24 \cdot (-10) = -52,3 \text{ тыс. ккал/ч;}$$

$$Q_B = L_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H) = 34,5 \cdot 0,24 \cdot 5 = 41,4 \text{ тыс. ккал/ч.}$$

Расход тепла на испарение влаги определяется:

$$Q_{и} = 600 \cdot W_{и} = 600 \cdot 81,6 = 48,9 \text{ тыс. ккал/ч,}$$

где 600 – тепло, необходимое для превращения 1 кг воды в пар, ккал/кг;

$W_{и}$  – количество влаги, выделяющейся со смоченных поверхностей, кг.

Количество тепла, выделяемого животными можно получить:

$$Q_{ж} = Q_{ж}^{св} \cdot k_t \cdot 1,03 \cdot n = 510 \cdot 1,0 \cdot 1,03 \cdot 200 = 105 \text{ тыс. ккал/час,}$$

где  $Q_{ж}^{св}$  – количество свободного тепла, выделяемого животными при  $t_B=10$  °С;

$k_t$  – поправочный коэффициент, учитывающий изменение тепловыделений от  $t_B=10$  °С;

1,03 – увеличение тепловыделений при повышении влажности воздуха до 85%.

n – поголовье животных.

Расчет потребности в тепловой энергии (часовые значения) составляющих на создание микроклимата заносится в таблицу 5.1. (тыс.ккал/ч).

Таблица 5.1 Расчет потребности в тепловой энергии

	-45-40	-40-35	-35-3	-30-25	-25-20	-20-15	-15-10	-10-5
Q <sub>т</sub> -	-279,3	-244	-209	-174	-139	-104	-69	+34
Q <sub>в</sub> -	-140	-127	-112	-100,2	-86,4	-69,12	-53,2	+41,4
Q <sub>и</sub> -	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9	48,9
Q <sub>ж</sub> +	105	105	105	105	105	105	105	105
Q <sub>р</sub>	-0,36	-0,31	-0,27	-0,43	-0,17	-0,117	+0,066	+0,23
T час	-----	-----	1	10	43	163	389	738
Q сумм	-0,36	-0,31	-0,24	-4,3	-7,31	-19,07	+25,6	+169

В каждом диапазоне стояния температур наружного воздуха суммируются значения Q<sub>т</sub>; Q<sub>в</sub>; Q<sub>и</sub> (это потребность фермы в тепле) из которых вычитаются значения Q<sub>ж</sub> (тепловыделение тепла животными) и заносятся в строку Q<sub>р</sub> со знаком минус или плюс. Plusовое значение показывает, что подвода тепла на ферму не требуется. Эти значения перемножаются на число часов стояния температур наружного воздуха T час и заносятся в строку Q сум. Затем потребности строки Q сум суммируются в годовую потребность фермы на создание микроклимата, причем суммируются только значения, имеющие отрицательной значение Q<sub>р</sub>.

## 5.2 Расход электроэнергии на силовые стационарные процессы животноводческой фермы

Для определения годового расхода электроэнергии на силовые стационарные процессы животноводческой фермы дойных коров выбираются силовые процессы, чем крупнее ферма, тем выше уровень электрификации технологических процессов.

Порядок расчета: значения годового расхода электроэнергии технологического процесса на голову скота перемножаются на поголовье скота и получается годовая потребность этого процесса в электроэнергии. Годовые потребности технологических процессов суммируются в общее потребление фермы в электроэнергии. Деление суммарного электропотребления фермы на поголовье скота даст удельный расход электроэнергии на голову скота.

Технологические процессы даны в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Годовой расход электроэнергии технологических процессов

Виды животных Фермы КРС (на одну голову) Привязное содержание	кВтч/год
Коровник	27,0
Кормоприготовление	16,0
Раздача грубых и сочных кормов	23,4
Уборка навоза	32,0
Водоснабжение (эл. привод)	80,0
Доеение коров:	50,0
в стойлах в молокопровод	60,0
в стойлах переносными аппаратами	35,0
в стойлах доильной площадки	42,0
Обработка молока (очистка, охлаждение, сепарирование)	12,0

1. Кормоприготовление:  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 27,0 \cdot 200 = 5400$  кВтч/год;

2. Раздача грубых, сочных кормов:  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 16,0 \cdot 200 = 3200$  кВтч/год;

3. Уборка навоза:  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 23,4 \cdot 200 = 4680$  кВтч/год;

4. Водоснабжение (эл. привод):  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 32,0 \cdot 200 = 6400$  кВтч/год;

5. Доеение коров (в стойлах в молокопровод):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 80 \cdot 200 = 16000 \text{ кВтч/год};$$

6. Обработка молока (очистка, охлаждение, сепарирование):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 35 \cdot 200 = 7000 \text{ кВтч/год};$$

7. Освещение:  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 42 \cdot 200 = 8400$  кВтч/год;

8. Прочие процессы:  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 12 \cdot 200 = 2400$  кВтч/год.

9. Вентиляция – приточная с подогревом воздуха электрокалорифером, вытяжная – естественная:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 60 \cdot 200 = 12000 \text{ кВтч/год}.$$

$$\sum_{\text{год}} \Theta = 5400 + 3200 + 4680 + 6400 + 16000 + 7000 + 8400 + 2400 + 12000 = 65480 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

$$\frac{\sum \Theta_{\text{год}}}{n} = \frac{65480}{200} = 327,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч гол/год.}$$

### 5.3 Построение графиков энергопотребления фермы

Суточные графики потребления электрической и тепловой энергии строятся отдельно.

Делением годовой потребности конкретного процесса в тепловой и электрической энергии на число часов работы технологического процесса получается часовая нагрузка. Часовые нагрузки технологических процессов в масштабе наносятся на график (на одной оси – ккал/ час или кВт/час на другой от 0 до 24 часов) в соответствии со временем потребления. Часовая потребность в тепловой энергии на создание микроклимата наносится на график теплоснабжения по максимальному значению  $Q_p$  на все 24 часа прямой линией. Аналогично наносится часовая электрическая нагрузка на привод приточной и вытяжной вентиляции.

График тепловых процессов указана на рисунке 5.1, график силовых процессов показана на рисунке 5.2.

#### 1. Поение животных:

Коровы с 5 до 6 – 22л; с 12 до 13 – 22 л; с 19 до 20 – 21 л в сутки 65 л с темп. 8-12°C:  $3 \cdot 350 = 1050 \text{ час/год}$

$$Q_1 = m_1 \cdot c \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}) / T = 65 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (12 - 10) / 1050 = 24,7 \text{ ккал/год.}$$

2. Обмывка вымени с 4 до 5 – 0,6 л; с 19 до 20 – 0,45 л; в сутки 1 л с темп. 37-38°C:  $2 \cdot 350 = 700 \text{ час/год}$

$$Q_2 = m_2 \cdot c \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}) / T = 3 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (38 - 10) / 700 = 24 \text{ ккал/год.}$$

3. Мытье дойной посуды с 5 до 6 – 0,7 л; с 20 до 21 – 0,7 л в сутки 1,4 л с темп. 55-65°C:  $2 \cdot 350 = 700 \text{ час/год}$

$$Q_3 = m_3 \cdot c \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}) / T = 1,6 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (55 - 10) / 700 = 20,6 \text{ ккал/год.}$$

4. Доильный зал: мойка Д.А. с 4 до 5 – 3 л; с 12 до 13 – 3 л; с 19 до 20 – 3 л в сутки 9л с темп. 90°C:  $3 \cdot 350 = 1050 \text{ час/год}$

$$Q_4 = m_4 \cdot c \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}) / T = 0,7 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (90 - 10) / 1050 = 10,6 \text{ ккал/год.}$$

5. Мойка молокопровода: С 4 до 5 – 0,6; с 12 до 13 – 0,6 л; с 19 до 20 – 0,6 л в сутки 1,8 л с темп. 55-65°C:  $3 \cdot 350 = 1050$  час/год

$$Q_5 = m_5 \cdot c \cdot (t_{ГВ} - t_{ХВ})/T = 0,3 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (65 - 10)/1050 = 3,14 \text{ ккал/год.}$$

Силовые процессы:

1. Освещение - с 0 до 23 – круглосуточно

$$\mathcal{E}_r = 42 \cdot 200/8400 = 1 \text{ кВтч/год.}$$

2. Вентиляция - с 0 до 24 – круглосуточно

$$\mathcal{E}_r = 60 \cdot 200/8400 = 1,43 \text{ кВтч/год.}$$

3. Уборка помещений - с 6 до 7 + с 14 до 15 + 20 до 21

$$\mathcal{E}_r = 23,4 \cdot 200/1050 = 4,45 \text{ кВтч/год.}$$

4. Дойка – с 5 до 6 + с 19 до 20

$$\mathcal{E}_r = 80 \cdot 200/700 = 22,8 \text{ кВтч/год.}$$

5. Кормоприготовление – с 4 до 5 + с 13 до 14 + 18-19

$$\mathcal{E}_r = 27,0 \cdot 200/1050 = 5,14 \text{ кВтч/год.}$$

6. Поение – с 5 до 6 + с 12 до 13 + с 19 до 20

$$\mathcal{E}_r = 32,0 \cdot 200/1050 = 6 \text{ кВтч/год.}$$

7. Обработка молока – 6-7 + 20-21

$$\mathcal{E}_r = 35 \cdot 200/700 = 10 \text{ кВтч/год}$$

8. Прочие процессы – 8-10 + 21-21

$$\mathcal{E}_r = 12 \cdot 200/1050 = 2,3 \text{ кВтч/год}$$



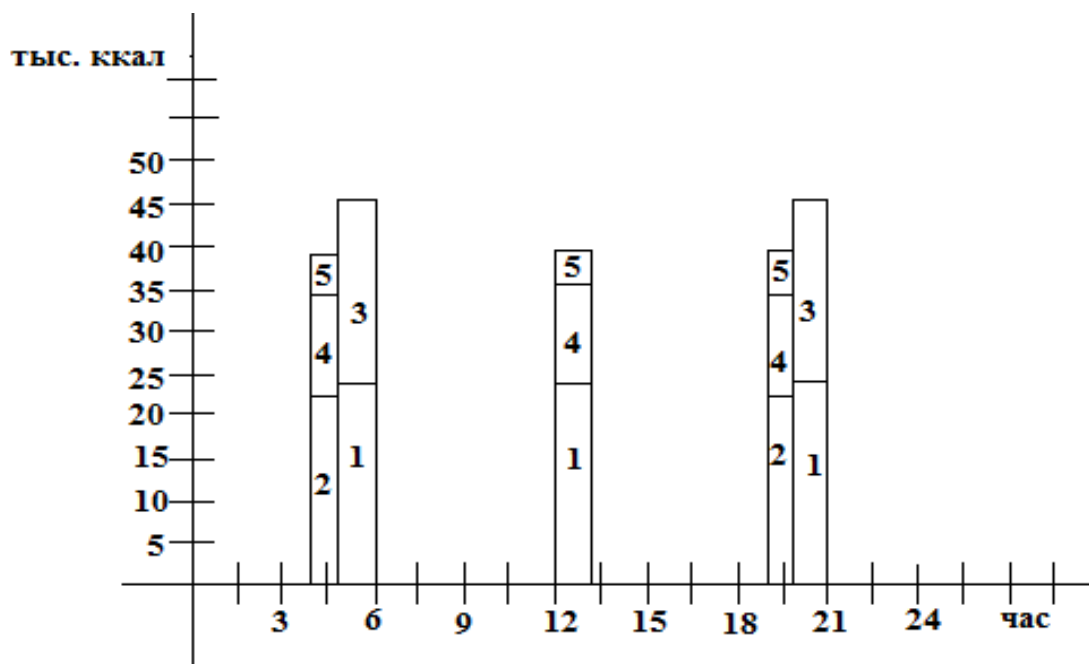


Рисунок 5.1 График тепловых процессов коровника

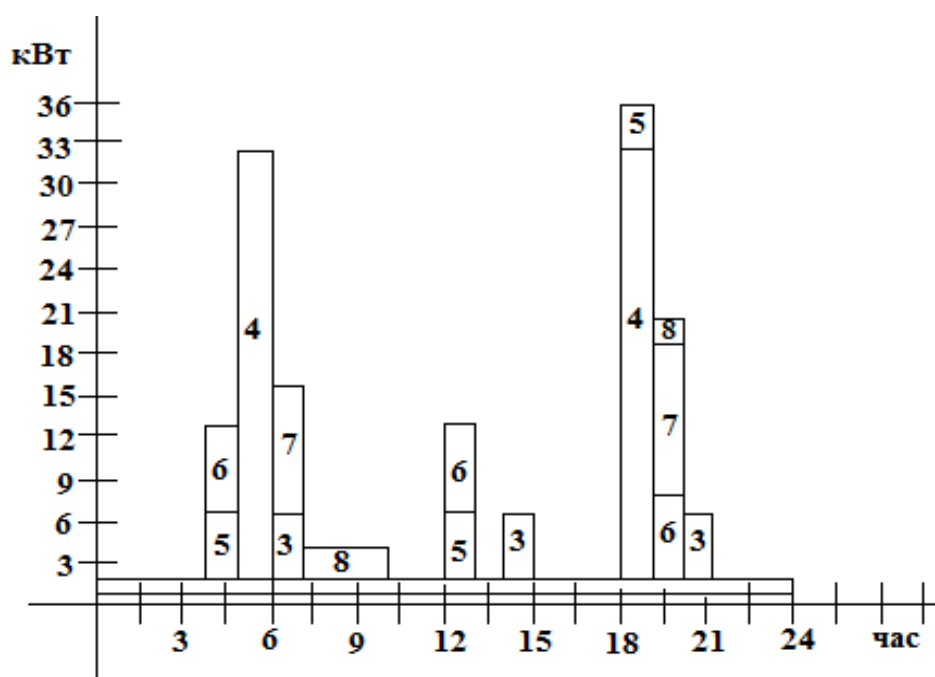


Рисунок 5.2 График силовых процессов коровника

#### 5.4 Расчет себестоимости отпуска тепла

Известно, что чем меньше потребитель, чем более высококачественный энергоресурс используется для покрытия тепловых нагрузок. На практике покрытие потребности таких животноводческих ферм в тепловой энергии зачастую происходит за счет электрической энергии. Если потребление

электроэнергии для тепловых процессов происходит в любое время графика электрической нагрузки системы, то это базисное электротеплоснабжение (БЭТС), если потребление электроэнергии для целей теплоснабжения происходит во время провалов графика электрической нагрузки системы (это технологически возможно только для горячего водоснабжения), то это внепиковое электротеплоснабжение (ВЭТС). Естественно, что этот способ электротеплоснабжения возможен там, где используется система обоснованных трехставочных тарифов на электроэнергию. ВЭТС предполагает использование оборудования для аккумулирования горячей воды (баки-аккумуляторы, бойлеры, электродные котлы с аккумуляцией). Работа электрокалориферов для подогрева приточного воздуха происходит в течение всех суток, т.е. по режиму БЭТС.

В связи с тем, что силовые процессы коровника потребляют электрическую энергию по свободному графику электропотребления, то затраты на привод стационарных силовых процессов в обоих вариантах будут одинаковыми. Поэтому затраты на электроснабжение силовых процессов в дальнейшем не рассматриваются, а рассматриваются только варианты теплоснабжения по свободному режиму потребления (базисное) и с использованием провалов графиков электрической нагрузки энергосистемы (внепиковое).

Затраты по первому варианту на систему электротеплоснабжения (БЭТС) следующие:

$$\begin{aligned} Z_{\text{БЭТС}} &= (Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}} + Z_{\text{смп}}) + Z_{\text{э}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{тек.рем}} + Z_{\text{проч}} + Z_{\text{кр}} \\ &= (26,7 + 37 + 81 + 7,5 + 15,2) + 918 + 218 + 2 + 23 + 21 \\ &= 1349,4 \text{ тыс. тг,} \end{aligned}$$

где  $Z_{\text{рас.сет}}$  – затраты на расширение сетей, выбирается кабель ААБ – 3\*70 токопроводящая жила – медная или алюминиевая, многопроволочная, круглой или секторной формы, 1335 тг/м принимаем протяженность 20 м, получаем 26,7 тыс. тг;

$Z_{\text{эл.кот}}$  – затраты на электродный котел, принимается ЭВН-25 – 37000 тг;

$Z_{\text{вент}}$  – затраты на вентиляцию, электрический калорифер Профтепло ТТ – 9Т нержавеющей, 9кВт, 800м<sup>3</sup>/ч, 370х300х380, выбираются 3 калорифера по 27 тыс. тг, итого 81 тыс. тг;

$Z_{\text{нас}}$  – затраты на насос, выбирается циркуляционный насос серии GREENPRO RS25/4G, стоимостью 7500 тг;

$Z_{\text{смп}}$  – затраты суммарные от ОПФ на 10%:

$$Z_{\text{смп}} = (Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}}) \cdot 0,05 = (26,7 + 37 + 81 + 7,5) \cdot 0,1 = 7,6 \text{ тыс. тг.}$$

$Z_{\text{э.п/п}}$  – затраты на электроэнергию, тарифу 15,19 тг/кВт·ч:

$$\sum 52,1 \text{ Гкал} = 52,1 \cdot 1160 = 60436 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$60436 \cdot 15,19 = 918 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч},$$

$Z_{\text{зп}}$  – затраты на заработную плату, количество персонала выбирается 1 человек по 0,25 ставки на 4 объекта.

$$Z_{\text{зп}} = \text{чел} \cdot 12 \cdot 60 \cdot 1,21 = 1 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 1,21 = 871 \text{ тыс. тг/4} = 218 \text{ тыс. тг.}$$

$Z_{\text{тек.рем}}$  – затраты на текущий ремонт:

$$I_{\text{а.о}} = 0,08 \cdot (Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}} + Z_{\text{смп}}) = 0,08 \cdot (26,7 + 37 + 81 + 7,5 + 15,2) = 0,08 \cdot 167,4 = 13,4 \text{ тыс. тг.}$$

$$Z_{\text{тек.рем}} = 0,15 \cdot I_{\text{а.о}} = 0,15 \cdot 13,4 = 2 \text{ тыс. тг.}$$

$Z_{\text{проч}}$  – затраты на прочие нужды:

$$Z_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (I_{\text{а.о}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{тек.рем}}) = 0,1 \cdot (13,4 + 218 + 2) = 23 \text{ тыс. тг.}$$

$Z_{\text{кр}}$  – затраты на погашения кредитного процента в течении 8 лет (10%):

$$Z_{\text{кр}} = \frac{(Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{смп}} + Z_{\text{нас}})}{8} + 0,1 = \frac{26,7 + 37 + 81 + 7,5 + 15,2}{8} + 0,1 = 21 \text{ тыс. тг.}$$

Себестоимость 1 Гкал тепловой энергии по первому варианту теплоснабжения коровника определяется:

$$S_{\text{БЭТС}} = \frac{I_{\text{а.о}} + Z_{\text{э.п}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{тек.рем}} + Z_{\text{проч}} + Z_{\text{кр}}}{Q_{\text{от.гв.}}} = \frac{13,4 + 918 + 218 + 2 + 23 + 21}{9,1 + 43} = \frac{1195,4}{52,1} = 22900 \text{ тг/Гкал.}$$

Затраты по второму варианту на систему электротеплоснабжения (ВЭТС) следующие:

$$\begin{aligned}
Z_{\text{ВЭС}} &= (Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}}^{\text{ба}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}} + Z_{\text{смп}}) + Z_{\text{ээ.б}} + Z_{\text{ээ.пп}} + Z_{\text{зп.пр}} + Z_{\text{тек.рем}} \\
&\quad + Z_{\text{проч}} + Z_{\text{кр}} \\
&= (26,7 + 310 + 81 + 7,5 + 42,5) + 45,3 + 99 + 759 + 5,5 \\
&\quad + 181,2 + 58,5 = 1610 \text{ тыс. тг,}
\end{aligned}$$

где  $Z_{\text{рас.сет}}$  – затраты на расширение сетей, выбирается кабель ААБ – 3\*70 токопроводящая жила – медная или алюминиевая, многопроволочная, круглой или секторной формы, 1335 тг/м принимаем протяженность 20 м, получаем 26,7 тыс. тг;

$Z_{\text{эл.кот}}^{\text{ба}}$  – затраты на электродный котел, принимается ЭВН-25 – 37000 тг, с баком аккумулятором теплоты АТ – 270 тыс. тг, итого 310 тыс. тг;

$Z_{\text{вент}}$  – затраты на вентиляцию, электрический калорифер Профтепло ТТ – 9Т нержавеющей, 9кВт, 800м<sup>3</sup>/ч, 370х300х380, выбираются 3 калорифера по 27 тыс. тг, итого 81 тыс. тг;

$Z_{\text{нас}}$  – затраты на насос, выбирается циркуляционный насос серии GREENPRO RS25/4G, стоимостью 7500 тг;

$Z_{\text{смп}}$  – затраты суммарные от ОПФ на 10%:

$$\begin{aligned}
Z_{\text{смп}} &= (Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}}^{\text{ба}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}}) \cdot 0,05 = (26,7 + 310 + 81 + 7,5) \cdot 0,1 \\
&= 42,5 \text{ тыс. тг.}
\end{aligned}$$

$Z_{\text{ээ}}$  – затраты на электроэнергию провала графика электрической нагрузки энергосистемы, тарифу 4,29 тг/кВт·час:

$$\Sigma 52,1 \text{ Гкал} = 52,1 \cdot 1160 = 60436 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Sigma 9,1 \text{ Гкал} = 9,1 \cdot 1160 = 10556 \cdot 4,29 = 45,28 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

$Z_{\text{ээ.п}}$  – затраты на электроэнергию по пиковой части графика электрической нагрузки по тарифу 31,77 тг/кВт·час:

$$3117,5 \cdot 31,77 = 99 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

$Z_{\text{ээ.л/п}}$  – затраты на электроэнергию, по полупиковой части графика электрической нагрузки по тарифу 15,19 тг/кВт·час:

$$46762 \cdot 15,19 = 759 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч.}$$

$Z_{\text{тек.рем}}$  – затраты на текущий ремонт:

$$\begin{aligned}
I_{\text{а.о}} &= 0,08 \cdot (Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}}^{\text{ба}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}} + Z_{\text{смп}}) \\
&= 0,08 \cdot (26,7 + 310 + 81 + 7,5 + 42,5) = 0,08 \cdot 467, = 37 \text{ тыс. тг.}
\end{aligned}$$

$$Z_{\text{тек.рем}} = 0,15 \cdot I_{\text{а.о}} = 0,15 \cdot 37 = 5,5 \text{ тыс. тг.}$$

$Z_{\text{проч}}$  – затраты на прочие нужды:

$$Z_{\text{проч}} = 0,1 \cdot (I_{\text{а.о}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{тек.рем}}) = 0,1 \cdot (37 + 218 + 5,5) = 26 \text{ тыс. тг.}$$

$Z_{\text{кр}}$  – затраты на погашения кредитного процента (в течение 8 лет):

$$\begin{aligned} Z_{\text{кр}} &= \frac{(Z_{\text{рас.сет}} + Z_{\text{эл.кот}}^{\text{ба}} + Z_{\text{вент}} + Z_{\text{нас}} + Z_{\text{смп}})}{8} + 0,1 = \\ &= \frac{26,7 + 310 + 81 + 7,5 + 42,5}{8} + 0,1 = 58,5 \text{ тыс. тг.} \end{aligned}$$

Себестоимость 1 Гкал тепловой энергии по второму варианту теплоснабжения коровника определяется:

$$\begin{aligned} S_{\text{ВЭТС}} &= \frac{I_{\text{а.о}} + Z_{\text{ээ.б}} + Z_{\text{ээ.лп}} + Z_{\text{зп.пр}} + Z_{\text{тек.рем}} + Z_{\text{проч}} + Z_{\text{кр}}}{Q_{\text{от.гв.}}} = \\ &= \frac{37 + 45,3 + 99 + 759 + 5,5 + 26 + 58,5}{9,1 + 43} = \frac{1030}{52,1} = \\ &= 19700 \text{ тг/Гкал.} \end{aligned}$$

#### *Вывод по разделу экономики*

Из проведенных расчетов видно что, при использовании электроэнергии для цели теплоснабжения МТФ по свободному режиму, то есть при базисном электротеплоснабжении себестоимость 1 Гкал тепла составляет – 22900 тг/Гкал.

При использовании электроэнергии для цели теплоснабжения МТФ при использовании провальной части графика электрической нагрузки энергосистемы, себестоимость равна 19700 тг/Гкал.

Тариф электроэнергии в пиковой части графика электрической нагрузки энергосистемы (отопительно – вентиляционная нагрузка) существенно удорожает составляющую электроэнергии в общих затратах на теплоснабжение объекта.

## 6 Безопасность жизнедеятельности

Возросшие требования к теплогенерирующему оборудованию, сложность и многообразие технологических процессов, систем и технических средств требуют создания в коровниках единого методического подхода при построении систем электротеплообеспечения. Следовательно назрела необходимость в разработке электродных водонагревателей нового поколения с оптимальными параметрами и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

### 6.1 Анализ условий труда для персонала в помещении автоматического управления

В автоматизированном производственном процессе работа относится к категории 1а. К этой категории относятся работы с интенсивностью энерготрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

Вид естественного освещения – боковое, осуществляется через проем размером 2х2 м. Величина коэффициента естественной освещенности (КЕО) составляет 2,0 %.

Освещение МТФ показана в таблице 6.1.

Хорошее освещение территории перед входом в доильный зал и в доильном зале означает, что:

- а) животные охотно идут в доильный зал;
- б) работники доильного зала имеют оптимальные условия работы.

Таблица 6.1 Молочно-товарный комплекс на 200 голов

Рабочая зона	Освещенность (люкс)
Доильный зал	
Общее освещение	200
Молочная и рабочие помещения	
Общее освещение	200
Зона ополаскивания и мойки	500
Зона ожидания	200

Проектирование осветительных установок (ОУ) подчиняется общим положением принятым в инструкции СНиП РК 2.04-05-2002 (Естественное и искусственное освещение. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства).

В доильных залах используются люминесцентные лампы с широкой диаграммой излучения. В настоящее время современные трехполосные лампы имеют коэффициент цветопередачи 1b и hn, и наивысшую светоотдачу.

В качестве источников света используются люминесцентные лампы

(ЛЛ) для общего равномерного освещения, поскольку этот тип ламп имеет высокую световую отдачу (до 75 лм/Вт), большой срок службы (до 10000 ч). Высокая световая отдача и большой срок службы ЛЛ, делают их в большинстве случаев более экономичными по сравнению с лампами накаливания.

Тип светильника выбирается по типу используемой лампы, по наличию в воздухе рабочей зоны пыли, различных химически активных сред, высоте помещения. Выбираются светильники типа ПВЛМ [17]. Светильники предусмотрено располагать с небольшими разрывами, ориентация рядов - параллельно продольным осям помещения. По проекту число рядов светильников  $N_p = 5$ .

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{100 \cdot e \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (6.1)$$

где  $S$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$z$  – коэффициент минимальной освещённости;

$e$  – нормированная освещённость

$N$  – общее число светильников;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент минимальной освещённости  $z$  характеризует неравномерность освещения и составляет для люминесцентных ламп:  $z = 1,1$ .

Коэффициент запаса  $K$ , учитывает возможное уменьшение освещённости в процессе эксплуатации осветительной установки,  $K_3 = 1,5$  для люминесцентных ламп.

Коэффициент использования светового потока  $\eta$ , зависит от КПД и кривой распределения силы света светильников (КСС), от коэффициентов отражения потолка  $\rho_{пот}$ , стен  $\rho_c$  и расчётной поверхности или пола  $\rho_n$ , высоты подвеса светильника и индекса помещения.

Индекс помещения  $i$  определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}, \quad (6.2)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;

$h$  – расчетная высота светильника над рабочей поверхностью, м.

Расчётная высота определяется как

$$h = H - h_c - h_p = 3,5 - 0,6 - 0,8 = 2,1 \text{ м,}$$

где  $H = 3,5$  м – высота помещения;  
 $h_c = 0,6$  м – расстояние от светильника до потолка;  
 $h_p = 0,8$  м – высота доильного аппарата.

Индекс помещения:

$$i = \frac{12 \cdot 8}{2,1 \cdot (12 + 8)} = 2,28 \text{ м.}$$

Для рассчитанного индекса помещения, для значений коэффициентов:  
 $r_{\text{пот}} = 0,7$ ,  $r_c = 0,5$ ,  $r_n = 0,1$  и для типа КСС определяем величину коэффициента использования светового потока:  $\eta = 79$ .

Рассчитываем необходимый поток в каждом из рядов, для этого число светильников  $N$  заменяем числом рядов  $N_p$ .

$$\Phi = \frac{100 \cdot 300 \cdot 96 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{5 \cdot 79} = 12030 \text{ лм.}$$

В тоже время, суммарный световой поток светильников ряда рассчитывается по формуле:

$$\Phi_p = \Phi \cdot N' \cdot n, \quad (6.3)$$

где  $N'$  – число светильников в ряду;  
 $n$  – число ламп в светильнике.

Выбираем тип лампы ЛБ 60. Световой поток лампы  $\Phi = 4550$  лм.  
Принимаем  $N' = 2$ .

Из формулы получаем число светильников в каждом ряду:

$$N' = \frac{\Phi_p}{\Phi \cdot n} = \frac{12030}{4550 \cdot 2} = 1,32 \approx 2.$$

Следовательно, светильники располагаются в 5 рядов по 2 светильника в каждом ряду. Работы, выполняемые в помещении, имеют следующие характеристики:

Наименьший эквивалентный размер объекта различения - 0,3 мм;  
Контраст объекта с фоном – средний;  
Общая система освещения;  
Зрительная работа высокой точности.



## 6. 2 Расчет естественного освещения

Площадь окна рассчитывается по формуле:

$$S_o = \frac{S_{\text{п}} \cdot e_N \cdot \eta_o \cdot K_3 \cdot K_{3д}}{100 \cdot \tau_o \cdot r_1}, \quad (6.4)$$

где  $S_o$ - площадь световых проемов при боковом освещении, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{п}}$ - площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;

$\eta_o$ - световая характеристика окон, табличные значения;

$K_3$  - коэффициент запаса, табличные данные;

$e_N$  – нормируемое значение КЕО;

$r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, благодаря свету, отраженному от поверхности помещения и подстилающего слоя, примыкающего к зданию, табличные данные

$K_{3д}$  - коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями, табличные значения;

$\tau_o$  - общий коэффициент светопропускания, определяют по формуле:

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (6.5)$$

где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания материала, табличные значения;

$\tau_2$  - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема, табличные значения;

$\tau_3$  - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, при боковом освещении равен 1, при верхнем берут из таблицы;

$\tau_4$  – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, табличные данные;

$\tau_5$  – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимают равным 0,9.

$$S_{\text{п}} = 18 \cdot 8 = 144 \text{ м}^2;$$

$$e_N = m \cdot e_H = 0,75 \cdot 2 = 1,5,$$

где  $m$  – коэффициент светового климата по таблице 3.1\*(проемы в наружных стенах, ориентация СВ, СЗ; г. Алмата IV);

$e_H$  – значение КЕО по таблице 3.12 [14] (разряд зрительной работы Ia, при боковом освещении).

Выбираем коэффициент  $\eta_o$ :

$\eta_o$  - световая характеристика окон, определяемая по таблице 3.2 [14] (отношение длины помещения к глубине  $L/l=18/4=4,5$ ; высота рабочей поверхности  $h = H - h_c - h_p = 3,5 - 0,6 - 0,8 = 2,1$  м).

Выбираем табличное значение  $\eta_o = 11$

Выбираем коэффициент  $r_1$ :

$r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, принимается по таблице 3.9 [14].

Отношение глубины помещения к высоте от уровня рабочей поверхности:

$$\frac{l}{h_p} = \frac{4}{2,1} = 1,9.$$

уровень рабочей поверхности:

$$p_z = p_{щ} + p_{но} - p_{pn} = 265 + 1 - 1 = 265 \text{ м}$$

Отношение расстояния расчетной точки к глубине помещения:

$$\frac{l}{B} = \frac{4}{8} = 0,5.$$

Освещение двустороннее;

коэффициент отражения потолка, стен и пола 0,5;

отношение длины помещения к глубине  $18/4=4,5$ ;  $r_1 = 1,1$ ;

$K_z$  - коэффициент запаса, табличные данные 3.11\*,  $K_z = 1,5$ ;

$K_{зд}$ - коэффициент учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями, при  $K_{зд} = 1$ :

$$\frac{P}{H_{зo}} = \frac{12}{8} = 1,5.$$

$\tau_o$  – общий коэффициент светопропускания:

$$\tau_o = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,583,$$

где,  $\tau_1 = 0,9$  стекло оконное листовое одинарное;

$\tau_2 = 0,9$  переплеты стальные одинарные глухие;

$\tau_3 = 0,8$  деревянные формы и арки;

$\tau_4 = 1$  регулируемые жалюзи и шторы;

$\tau_5 = 0,9$  потери света в защитной сетке.

$$S_o = \frac{S_{\Pi} \cdot e_N \cdot \eta_o \cdot K_3 \cdot K_{зд}}{100 \cdot \tau_o \cdot r_1} = \frac{144 \cdot 1,5 \cdot 11 \cdot 1,5 \cdot 1,4}{100 \cdot 0,583 \cdot 1,1} = 77,8 \text{ м}^2.$$

Найдем площадь окон с одной стороны:

$$S_{ок} = \frac{S_o}{2} = \frac{77,8}{2} = 38,9 \text{ м}^2.$$

Найдем необходимую длину окна:

$$L_{ок} = \frac{S_{ок}}{h_{ок}} = \frac{38,9}{2,1} = 18,52 \text{ м}.$$

### *Автоматизированное рабочее место персонала для автоматического управления ЭВМ – 25*

Автоматизированное рабочее место (АРМ), представляет собой место пользователя – специалиста той или иной профессии, оборудованное средствами, необходимыми для автоматизации выполнения им определенных функций. АРМ показан на рисунке 6.1. Такими средствами, как правило, является ПК, дополняемый по мере необходимости другими вспомогательными электронными устройствами, а именно: дисковыми накопителями, печатающими устройствами, оптическими читающими устройствами или считывателями штрихового кода, устройствами графики, средствами сопряжения с другими АРМ и с локальными вычислительными сетями и т.д.

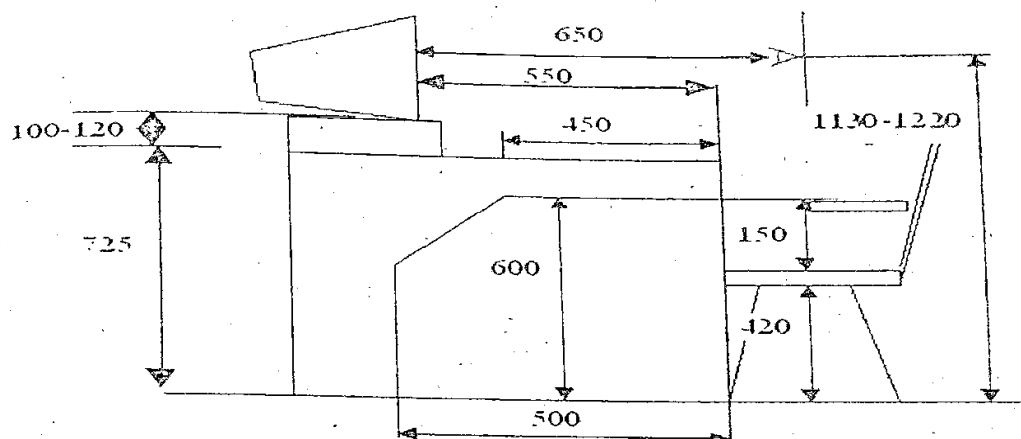


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема рабочего места автоматизированного управления

По психофизиологическим факторам характеристики оборудования (монитора) должны быть: LCD дисплей, яркость – 300 кд/м<sup>2</sup>, контрастность –

2000:1, частота горизонтальной развертки – 30 - 80 кГц, частота вертикальной развертки – 56 - 75 Гц, max разрешение – 1280 x 1024, время отклика – 5 мс, углы обзора по горизонтали/по вертикали – 150 / 135, потребляемая мощность – 45 Вт.

### 6.3 Расчет по обеспечению электробезопасности

Для обеспечения требований электробезопасности при эксплуатации электродных водонагревателей в условиях сельскохозяйственного производства, которое характеризуется большим количеством помещений с повышенной опасностью и особо опасных, необходимо исключить возможность появления на технологическом и отопительном оборудовании потенциалов, превышающих допустимое напряжение прикосновения для человека ( $U_{\text{доп}} = 12\text{В}$ ).

В аварийных режимах потенциал на корпусе ЭВН может достигать опасных значений – 70...142 В, поэтому серийные ЭВН оборудуются различными устройствами защиты, особенно от неполнофазных режимов.

При обрыве одной или двух фаз ЭВН представляет опасность в случае обрыва нулевого провода, поэтому в разных помещениях, имеющих технологическое оборудование связанное с ним, применяют различные способы защиты от поражения током персонала.

В случае возникновения аварийного режима, в виде замыкания фазы на корпус, напряжение этой фазы распределяется пропорционально сопротивлениям заземлений ЭВН и технологического оборудования. Такие замыкания в большинстве случаев не приводят к перегоранию плавных вставок и срабатыванию электромагнитных расцепителей автоматических выключателей, следовательно, корпус ЭВН и технологическое оборудование могут длительно находиться под опасным напряжением.

Важным критерием оценки ЭВН является коэффициент звездности, величина которого влияет на выбор технических мероприятий по обеспечению электробезопасности и в определенной мере характеризует степень совершенства конструкции ЭВН.

Коэффициент звездности можно найти через проводимости «звезды» и «треугольника»:

$$K_{3B} = \frac{P_{3B}}{P_{3B} + P_{TP}} = \frac{U_A^2 g_A + U_B^2 g_B + U_C^2 g_C}{U_{AB}^2 g_{AB} + U_{BC}^2 g_{BC} + U_{CA}^2 g_{CA} + U_A^2 g_A + U_B^2 g_B + U_C^2 g_C}, \quad (6.6)$$

где  $P_{3B}$ ;  $P_{TP}$  – мощности нагрузки «звезды» и «треугольника»;

$U_A$ ;  $U_B$ ;  $U_C$  – фазные напряжение сети;

$U_{AB}$ ;  $U_{BC}$ ;  $U_{CA}$  – линейные напряжения сети;

$g_{Ak}; g_{Bk}; g_{Ck}$  – проводимости между фазными электродами и корпусом;

$g_{AB}; g_{BC}; g_{CA}$  – проводимости между фазными электродами.

При симметричной нагрузке выражение (6.6) упрощается:

$$K_{3B} = \frac{g_k}{3g_{TP} + g_k}, \quad (6.7)$$

где  $g_k = g_{Ak} = g_{Bk} = g_{Ck};$   
 $g_{TP} = g_{AB} = g_{BC} = g_{CA}.$

Величина коэффициента звездности в паспортах серийных ЭВН не указывается, что осложняет выбор необходимых мер по безопасности. Для некоторых серийных ЭВН величина коэффициента звездности приводится в таблице 6. 2

Таблица 6. 2– Коэффициент звездности серийных ЭВН

Тип ЭВН	ЭПЗ-100/0,4	КЭВ-175/0,4	ЭВН-16	КЭВ-100/0,4	ЭВН-25	ЭВН-6/9	ЭПЗ-100/И2	АИ-03
$K_{3B}$	0,97	0,73	0,38	0,17	0,16	0,12	0,03	0,07

Исходные данные:

1. Номинальная мощность ЭВН:  $P_{ном} = 25 \cdot 10^3$  Вт;
2. Напряжение питающей сети:  $U = 380$  В;
3. Номинальное удельное сопротивление воды при 20°C:  $\rho_{20ном} = 30$  Ом.м;
4. Номинальные температуры воды в контуре ЭВН:  
на входе  $t_{вх} = 70^0$ С;  
на выходе  $t_{вых} = 95^0$ С;  
степень нагрева  $\Delta t = t_{вых} - t_{вх} = 95 - 70 = 25^0$ С;
5. Коэффициент полезного действия  $\eta = 0,99$ ;
6. Геометрические данные электродной группы с коаксиальными электродами:  
Радиус фазного электрода  $r_l = 0,01$  м;  
Радиус нулевого электрода  $r_l = 0,016$  м;  
Радиус корпуса  $r_k = 0,145$  м;  
Расстояние от экрана до корпуса  $l = 0,05$  м;  
Радиус отверстий в нулевом электроде  $r_0 = 0,005$  м;
7. Допустимая напряженность электрического поля  $E_{дон} = 90 \cdot 10^3$  В/м [8].  
Расчет показателей электробезопасности

5. Сопротивление выносу потенциала на корпус:

$$R_{ВП} = \frac{\rho(3l + b)}{\pi \cdot r_0^2 n} = \frac{30(3 \cdot 0,14 - 0,03)}{\pi \cdot 0,005^2 \cdot 14} = 4000 \text{ Ом.}$$

6. Коэффициент звездности:

$$K_{зв.} = \frac{g_{en}}{3(g_{\phi} + g_{ВП})} = \frac{0,000087}{3(0,11 + 0,000087)} = 0,00026,$$

где  $g_{\phi}$  - проводимость фазы;

$g_{ВП}$  - проводимость между фазным электродом и корпусом.

7. Допустимая сила тока для человека:

$$I_{\partial on} = \frac{U_{\partial on}}{R_r} = \frac{12}{500} = 0,024 \text{ А,}$$

где  $U_{\partial on} = 12 \text{ В}$  – допустимое напряжение прикосновения;

$R_r = 500 \text{ Ом}$  – сопротивление кожи человека.

8. Допустимая величина сопротивления выносу потенциала:

$$R_{ВП \partial on} = \frac{U'_{\phi} - U_{\partial on}}{I_{кз}} = \frac{236,5 - 12}{0,4} = 561,3 \text{ Ом,}$$

где  $U'_{\phi} = 236,5 \text{ В}$  – допустимое превышение напряжения у потребителя (не более 7,5%);

$I_{кз}$  - ток однофазного короткого замыкания.

$$I_{кз} = \frac{U}{R_{пз}} = \frac{12}{30} = 0,4 \text{ А,}$$

где  $R_{пз} = 30 \text{ Ом}$  – допустимое сопротивление повторного заземления, согласно ПУЭ.

Таким образом соблюдается условие  $R_{ВП} > R_{ВП \partial on}$ .

Величина коэффициента звездности в паспортах серийных ЭВН не указывается, что осложняет выбор необходимых мер по безопасности. Для некоторых серийных ЭВН величина коэффициента звездности приводится в

Для ЭВН с проводящим корпусом наиболее эффективным способом увеличения сопротивления выносу потенциала является установка разработанных нами нулевых электродов или диэлектрических перфорированных экранов, которые снижают величину  $K_{ЗВ}$  до 0,00026 и 0,012, т.е. ток к корпусу практически не протекает, так как сопротивление выносу потенциала возрастает в 5,0...7,9 раз по сравнению с наибольшим значением у ЭВН-25 с изолированным корпусом.

*Вывод по разделу безопасности жизнедеятельности*

По проведенному анализу условий труда для персонала, была определена производственная освещенность в помещении автоматического управления. В котором величина при естественном освещении для обеспечения необходимой освещенности механического цеха необходимы окна с двух сторон длиной 18,52 м и высотой 2,1 метра.

Расчет по проведению электробезопасности выявил, что соблюдается условие  $R_{ВП} > R_{ВП доп}$ , при котором допустимая величина сопротивления выносу потенциала должна быть меньше, чем сопротивление выносу потенциала на корпус.

Экспериментально подтверждена эффективность способа снижения напряжения прикосновения на корпусе ЭК-16 как в номинальном, так и в аварийных режимах работы с помощью экранирующих нулевых электродов или диэлектрических экранов.

## Заклучение

На основе анализа конструкции известных электродных водонагревателей и систем электротеплоснабжения обоснована компоновка системы теплоснабжения МТФ на 200 голов КРС – электродный водонагреватель, аккумулятор теплоты, система отопления производственных помещений молочного блока и шкаф управления автоматики.

Расчетным путем определены параметры водонагревателя мощностью 25 кВт с коаксиальными электродами: высота электродов  $H = 0,17$  м, геометрический коэффициент  $K = 0,075$ , производительность по горячей воде  $m = 828$  кг/ч, сопротивление фазы  $R_{\phi} = 8,89$  Ом, сопротивление выносу потенциала на корпус  $R_{ВП} = 4$  кОм и коэффициент звездности  $K_{зв} = 0,00026$ .

Разработана схема соединения электродов «двойная звезда» путем установки экранирующих нулевых электродов на отдельном токовом выносе, изолированным от корпуса проходным изолятором. Фазные стрелковые электроды установлены коаксиально по оси нулевых электродов и изолированного корпуса. Эта схема в аварийных режимах обеспечивает защиту корпуса от выноса потенциала экранирующими нулевыми электродами, соединенными с нейтралью сети. При этом величина напряжения прикосновения на корпусе будет значительно меньше напряжения смещения, благодаря большой величине сопротивления выносу потенциала на корпус  $R_{ВП}$ . Таким образом величина напряжения на корпусе в аварийных режимах составляет  $U_{пр} = 0,1 - 0,2$  В.

Расчетным путем определены параметры аккумулятора теплоты: удельное теплопроизводительность  $K_{ТО} \cdot F = 1402,5$  кДж/м<sup>2</sup> · ч, коэффициент теплопередачи теплообменника  $K_{ТО} = 1068$  кДж/м<sup>2</sup>, площадь поверхности теплообмена  $F_{mo} = 4,56$  м<sup>2</sup> и время нагрева  $\tau = 7,5$  ч.

Расчетным путем определены параметры системы отопления молочного блока: тепловая мощность  $P_{СО} = 9,2$  кВт, общая площадь поверхности радиаторов  $S_{РО} = 13,3$  экм и количество секции радиаторов  $n_{РО} = 43$  шт.

Разработана технологическая схема утилизации теплоты за счет использования теплоты молока и теплоты отработанной горячей воды.

В разделе безопасности жизнедеятельности по проведенному анализу условий труда для персонала, была определена производственная освещенность в помещении автоматического управления. В котором величина при естественном освещении для обеспечения необходимой освещенности механического цеха необходимы окна с двух сторон длиной 18,52 м и высотой 2,1 метра.

Расчет по проведению электробезопасности выявил, что соблюдается условие  $R_{ВП} > R_{ВП доп}$ , при котором допустимая величина сопротивления выносу потенциала должна быть меньше, чем сопротивление выносу потенциала на корпус.



Экспериментально подтверждена эффективность способа снижения напряжения прикосновения на корпусе ЭК-16 как в номинальном, так и в аварийных режимах работы с помощью экранирующих нулевых электродов или диэлектрических экранов.

Из проведенных расчетов по экономической части видно что, при использовании электроэнергии для цели теплоснабжения МТФ по свободному режиму, то есть при базисном электротеплоснабжении себестоимость 1 Гкал тепла составляет – 22900 тг/Гкал.

При использовании электроэнергии для цели теплоснабжения МТФ при использовании провальной части графика электрической нагрузки энергосистемы, себестоимость равна 19700 тг/Гкал.

Тариф электроэнергии в пиковой части графика электрической нагрузки энергосистемы (отопительно – вентиляционная нагрузка) существенно удорожает составляющую электроэнергии в общих затратах на теплоснабжение объекта.

## Список литературы

1. Назарбаев Н.А. Процветание сельского хозяйства – это процветание народа (Доклад на совещании Министерства сельского хозяйства РК, 31.01.2005). Казахстанская правда, №21 от 01.02.05.
2. Чокин Ш.Ч., Сюндюков Р.Х. Энергетика сельского хозяйства Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1988. – 239 с.
3. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. – М.: Колос, 1975. – 383 с.
4. Захаров А.А. Применение тепла в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1974. – 341 с.
5. Баранов Л.А. Новые электронагревательные устройства для животноводства Казахстана. – Алматы: КазНИИНКИ, 1993. – 77 с.
6. Расстригин В.Н. Основы электрификации тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве. – М.: Агропомиздат, 1988. – 255 с.
7. Евсеев П.Н., Черкасов А.В. О некоторых способах защиты от поражения током при эксплуатации электродных водонагревательных установок //Электричество, 1967, № 4. – С. 84-86.
8. Каган Н.Б., Кауфман В.Г., Пронько М.Г., Яневский Г.Д. Электротермическое оборудование для сельскохозяйственного производства. – М.: Энергия, 1980. – 192 с.
9. Фоменков А.П. Электропривод сельхозмашин, 1984.
10. Бодин А.П. Электрооборудование для сельского хозяйства, 1984.
11. Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Барков В.И. Ресурсосберегающие системы и установки электрообеспечения в малом молочном животноводстве. Монография. – Алматы: ТОО «Нур – ДиАс» 2012. – 320 с.
12. Методические рекомендации по расчету и применению систем электротеплоснабжения молочных ферм и комплексов. – М.: ВИЭСХ, 1982. – 72с.
13. Пырков В. В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. К.: Таки справи, 2005. – 302 с.
14. Абдимуратов Ж.С., Мананбаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Расчет производственного освещения» в выпускных работах для всех специальностей. Бакалавриат – Алматы: АИЭС, 2009. – 20 с.
15. Блажин А.Г. Применение электроводонагревателей в сельском хозяйстве //Техника в сельском хозяйстве, 1975, № 3, С. 45-50.
16. Чокин Ш.Ч., Сюндюков Р.Х. Энергетика сельского хозяйства Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1988. – 242с.
17. Справочник по теплоснабжению сельскохозяйственных предприятий. М. Колос, 1983. Под ред. Уварова В.В.
18. Парамонов С.Г. Черенкова Н. В., Оценка затрат на теплоснабжение животноводческих ферм Казахстана. Деп. № 4178 – В88 26.05.88

19. Парамонов С.Г., Сюндюков Р.Х. Обоснование рациональной потребности сельского хозяйства Казахстана в топливно-энергетических ресурсах. Материалы конференции « Региональные проблемы ТЭБ в условиях совершенствования хозяйственного механизма», часть 3, Москва. – 1989. С – 65 – 68.

20. Экономика предприятий электрического комплекса: Учеб. для вузов/В.С. Самсанов, М.А. Вяткин. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2003. – 81 с.

## Приложение А

### Построение графиков

Построение графиков в дипломном проекте было выполнено при помощи программы Microsoft Office Excel.

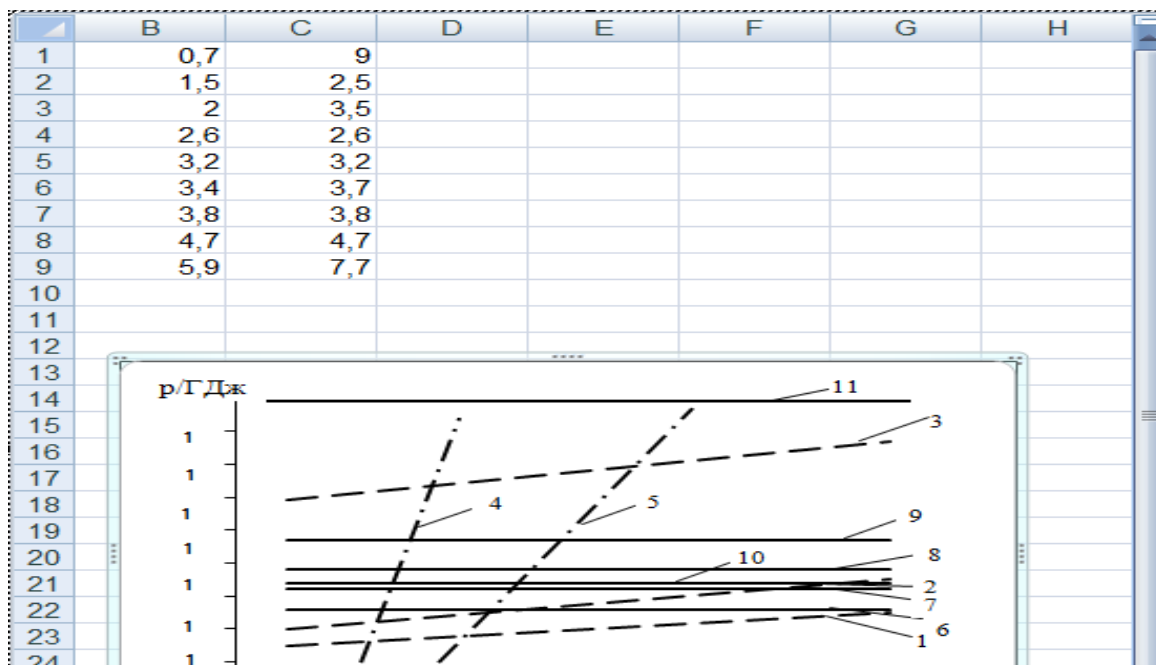


Рисунок А1 – Удельные приведенные затраты в системы теплоснабжения для южной зоны Казахстана

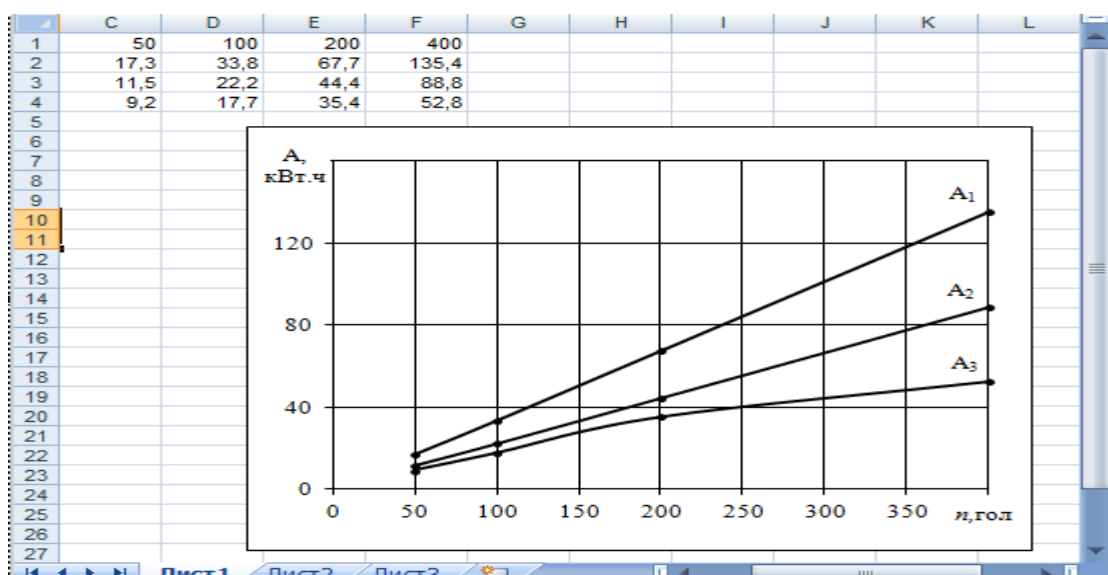


Рисунок А2 – Зависимость расхода электрической энергии на нагрев воды для технологических нужд молочного блока от обслуживаемого поголовья

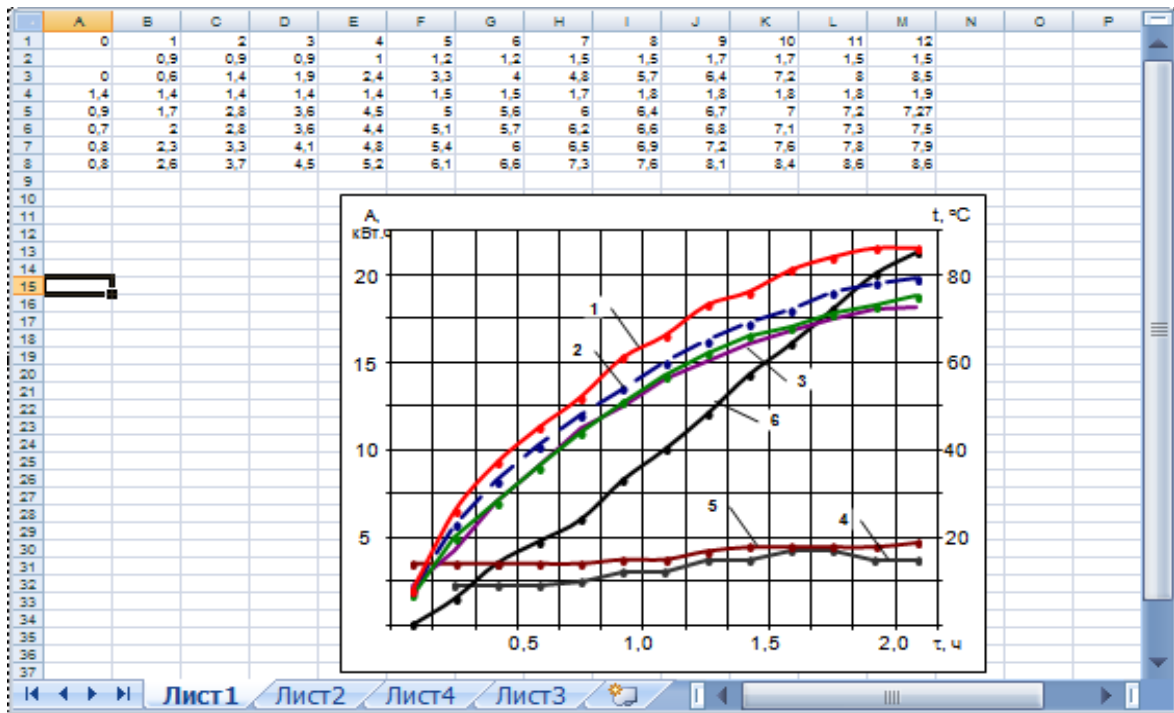


Рисунок А3 – Динамика изменения температур теплоносителей в системе отопления при температуре наружного воздуха  $t_{\text{нар}} = -5^{\circ}\text{C}$

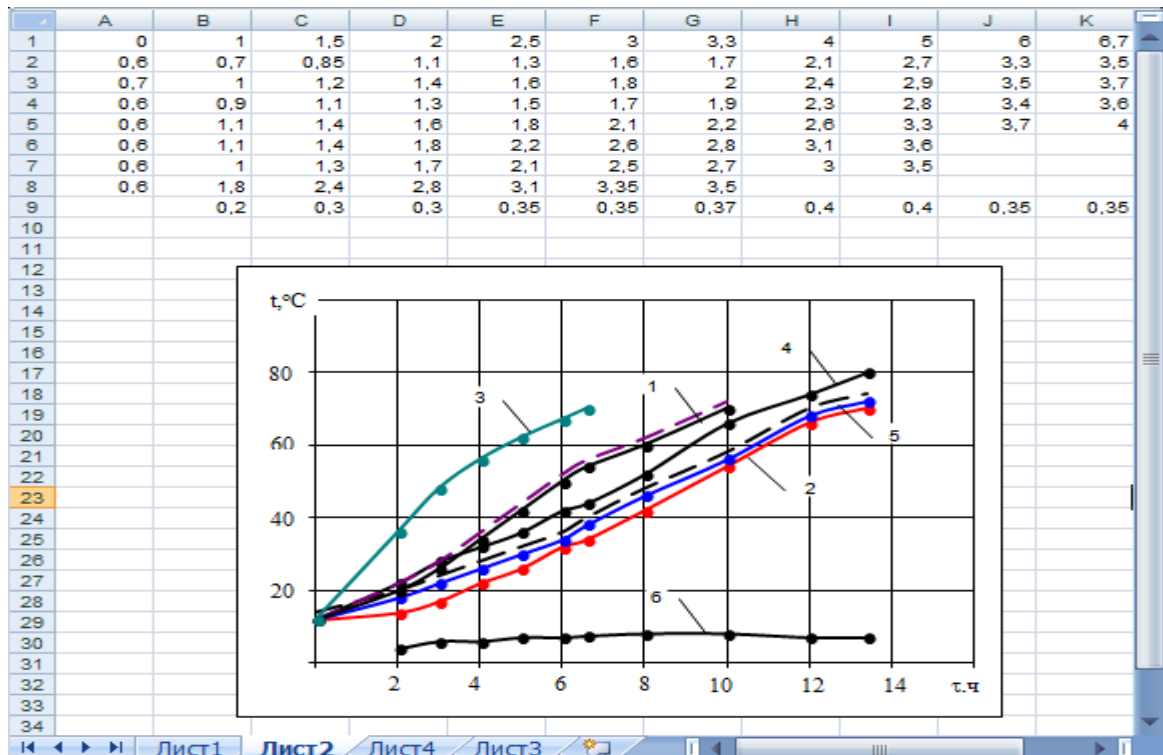


Рисунок А4 – Динамика изменения температур теплоносителей в АТ в различных режимах работы

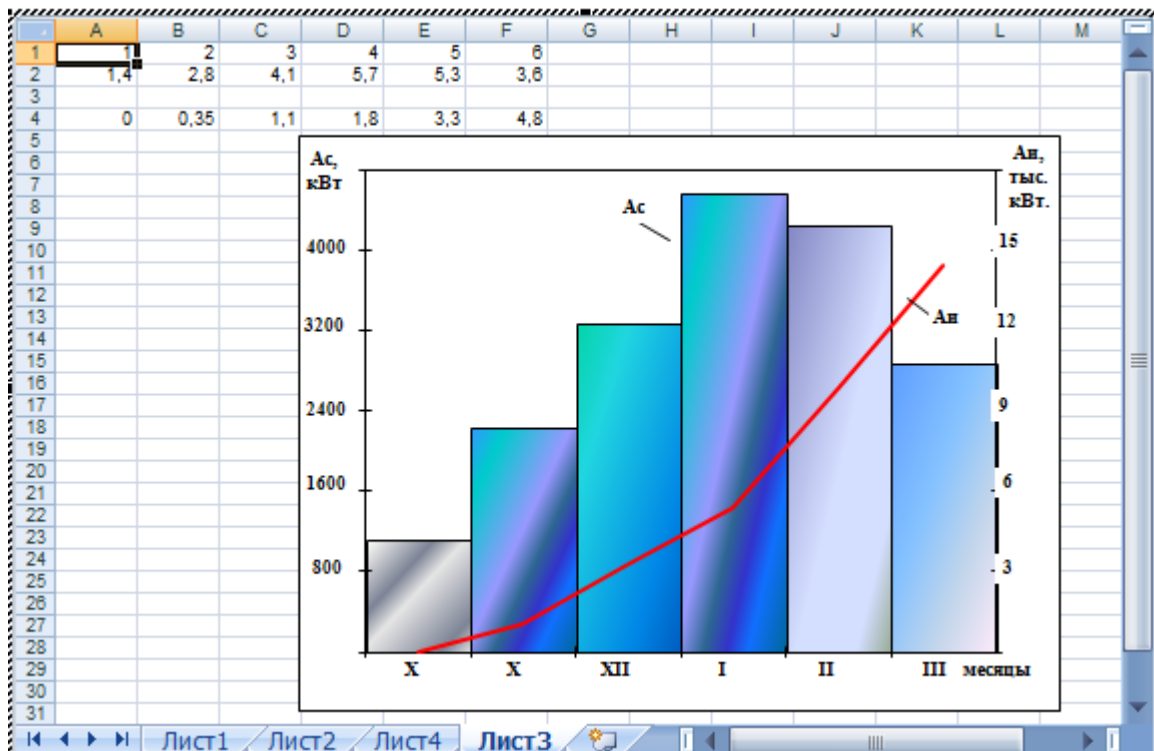


Рисунок А5 – Сезонный и интегральный графики расхода электроэнергии при работе СЭТ с электроотагревателем за отопительный период