

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И  
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

**Монография**

Под научной редакцией  
член-корреспондента Национальной Академии наук,  
доктора сельскохозяйственных наук, профессора  
В.К. Пестиса

Гродно 2009

УДК 631.22:628.1.034.4:621.65  
628.16.087

**Ивашко, В.С.** Водоснабжение животноводческих комплексов с применением погружных электронасосных агрегатов: монография / В.С. Ивашко и др.; под науч. ред. В.К. Пестиса. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 251 с. – ISBN

В монографии приведены краткие сведения по проектированию, ремонту и эксплуатации систем водоснабжения животноводческих комплексов. Описаны способы расчета и подбора оборудования. Изложены особенности конструкции, технические характеристики, энергетические и экономические показатели использования погружных электронасосных агрегатов. Излагаются теоретические принципы и результаты практического применения электротехнологии обработки воды, используемой для поения сельскохозяйственных животных.

Монография предназначена для инженерно-технических работников животноводческих комплексов, ремонтных предприятий, студентов, магистрантов, аспирантов агроинженерных специальностей, а также слушателей ФПК.

Рис. 80, табл.36.

Рекомендовано к изданию научно-техническим Советом УО «Гродненский государственный аграрный университет»

Рецензенты: доктор технических наук, профессор В.М. Капцевич;  
кандидат технических наук, доцент Э.В. Заяц.

ISBN

Коллектив авторов, 2009  
УО «ГГАУ», 2009

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
<b>Глава 1</b>	
<b>Системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов</b>	
1.1. Общие сведения	8
1.2. Источники водоснабжения	12
1.3. Водоподъемные устройства и насосы	15
1.4. Водонапорные сооружения	21
1.4.1. Горизонтальный цилиндрический резервуар	24
1.4.2. Эллипсный резервуар	26
1.4.3. Шаровая башня	28
1.4.4. Объем горизонтального резервуара	29
1.4.5. Определение параметров автоматического управления водонапорной башней	31
1.4.6. Оптимальные параметры бака водонапорной башни	33
1.4.7. Расчет анкерных болтов водонапорной башни	34
1.5. Некоторые типы поилок	38
Выводы по главе 1	46
<b>Глава 2</b>	
<b>Погружные электронасосные агрегаты</b>	
2.1. Устройство и технические характеристики погружных насосов	48
2.2. Устройство и технические характеристики погружных электродвигателей	57
2.3. Технические характеристики и устройство погружных электродвигателей фирмы Franklin Electric	65
2.4. Агрегатирование насоса с электродвигателем	68
2.5. Анализ рабочих процессов в многоступенчатом погружном насосе	71
2.6. Форма проточной полости ступени погружного насоса	73
2.7. Расчет ступени погружного центробежного насоса	76
2.8. Расчет уплотнения рабочего колеса	80
2.9. Построение характеристик насоса	81
2.10. Профилирование меридианного сечения колеса	83
2.11. Профилирование цилиндрических лопастей	84
2.12. Расчет и профилирование лопаточного отвода	87
2.13. Технические характеристики и устройство бустерных	

агрегатов	90
2.14. Технические характеристики и устройство тепловых установок	96
Выводы по главе 2	100
<b>Глава 3</b>	
<b>Эксплуатация погружных электронасосных агрегатов</b>	
3.1. Подбор и подготовка к монтажу погружных электронасосных агрегатов	102
3.2. Монтаж погружных электронасосных агрегатов	109
3.3. Эксплуатация погружных электронасосных агрегатов	113
3.5. Автоматизация работы электронасосных агрегатов	120
3.6. Качественное регулирование оборотов электронасосных агрегатов с применением частотного преобразователя	126
3.7. Эксплуатация водозаборных скважин	135
3.8. Эксплуатация бустерных агрегатов	138
3.9. Эксплуатация тепловых насосных установок	141
3.10. Эксплуатация систем управления и защиты электронасосными агрегатами	142
3.11. Особенности эксплуатации объектов водоснабжения в зимний период	145
Выводы по главе 3	148
<b>Глава 4</b>	
<b>Техническое обслуживание и ремонт погружных электронасосных агрегатов</b>	
4.1. Техническое обслуживание погружных электронасосных агрегатов	149
4.2. Текущий ремонт погружных электронасосных агрегатов	151
4.3. Испытания погружных скважинных электродвигателей	159
4.4. Испытания погружных электронасосных агрегатов	166
Выводы по главе 4	172
<b>Глава 5</b>	
<b>Экономическая эффективность использования погружных электронасосных агрегатов</b>	
5.1. Техничко-экономическое обоснование применения погружных электронасосных агрегатов	173

5.2. Потребительские свойства погружных электронасосных агрегатов	176
5.3. Эффективность применения погружных электронасосных агрегатов	179
5.4. Оптимизация характеристик электронасосных агрегатов	183
5.5. Эффективность применения бустерных агрегатов	186
Выводы по главе 5	189
<b>Глава 6</b>	
<b>Охрана труда и техника безопасности при производстве работ</b>	
6.1. Общие требования техники безопасности	190
6.2. Требования безопасности при эксплуатации погружных электронасосных агрегатов и других объектов водоснабжения	193
6.3. Требования безопасности при техническом обслуживании водоподъемного оборудования	194
6.4. Требования безопасности при изготовлении и ремонте электронасосных агрегатов	198
Выводы по главе 6	201
<b>Глава 7</b>	
<b>Электротехнология подготовки воды для поения сельскохозяйственных животных</b>	
7.1. Теоретические основы процесса электроактивации воды	202
7. 2. Математическая модель процесса электротехнологической обработки воды	213
7.3. Методика проектирования и расчета электротехнологического оборудования	224
7.4. Экспериментальное исследование электротехнологии обработки воды	230
Выводы по главе 7	237
Заключение	239
Литература	241

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прирост производства животноводческих предприятий Республики Беларусь обеспечивается в основном за счет строительства дополнительных мощностей и увеличения поголовья животных. В сочетании с использованием устаревших технологий такой подход приводит к экстенсивному расширенному воспроизводству, которое может осуществляться лишь на основе использования дешевых топливно-энергетических ресурсов и рабочей силы и неизменно приводит к увеличению энергоемкости и себестоимости продукции. Для Республики Беларусь, не обладающей значительными запасами топливно-энергетических ресурсов, единственно возможным вариантом преодоления надвигающихся глобальных угроз является инновационное развитие АПК, ориентированное на использование современных наукоемких технологий и оборудования, обеспечивающих повышение эффективности технологических процессов без увеличения затрат энергетических ресурсов.

Проблема добычи качественной питьевой воды в настоящее время стоит достаточно остро в большинстве стран мира. Водные ресурсы планеты быстро истощаются и приходят в негодность в результате загрязнения окружающей среды [6]. В соответствии с прогнозами различных исследователей нехватку питьевой воды испытывают около двух миллиардов человек на планете. Существует мнение, что стоимость пресной воды в ближайшие десятилетия может приравняться к стоимости важнейших энергетических ресурсов, таких как нефть и газ.

Запасы наиболее чистых межпластовых артезианских вод во всем мире ограничены [23]. Поэтому в настоящее время достаточно остро стоит задача эффективного использования всех доступных источников воды.

Водоснабжение объектов животноводства имеет свою специфику, связанную с некоторыми особенностями технологического и санитарного характера [11]. Бесперебойное снабжение качественной водой является одной из важнейших задач технического обеспечения животноводства. При этом существенное значение имеет как достаточное количество воды, так и ее высокое качество, которое определяется целым рядом важ-

нейших параметров. Не смотря на то, что вода, используемая для поения животных, не потребляется непосредственно человеком, к её качеству должны предъявляться требования соответствующие стандартам на питьевую воду [31].

В последние десятилетия растет загрязнение подземных вод сельскохозяйственными химикатами, навозными стоками и др. При этом значительно возрастает риск распространения различных инфекционных заболеваний людей и животных. Поэтому требования к качеству воды для животноводства значительно возрастают.

Ограниченные возможности использования в животноводстве вод из открытых источников обуславливают тот факт, что в качестве основного источника для водоснабжения животноводства в Республике используются подземные воды, в большинстве случаев забираемые из скважин при помощи погружных скважинных электронасосных агрегатов.

Широкое использование подземных вод ставит большие задачи по созданию надежных систем водоснабжения, обладающих высокими энергетическими и эксплуатационными качествами, повышенной надежностью, малой удельной металлоемкостью, высокой степенью унификации [35]. Технический уровень производства в значительной степени определяется надежностью работы и долговечностью погружных электронасосных агрегатов как основного и наиболее уязвимого звена водоснабжения.

Целью настоящей монографии является ознакомление широкого круга специалистов АПК с научной информацией, связанной с проектированием, производством, ремонтом и эксплуатацией систем водоснабжения, включая погружные электронасосные агрегаты и современные системы подготовки воды. Это позволит эксплуатационному и ремонтному персоналу внести свой вклад в работу по повышению надежности и обеспечению необходимого технического и технологического уровня систем водоснабжения на предприятиях животноводства.

# Глава 1. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ И КОМПЛЕКСОВ

## 1.1. Общие сведения

Под системой водоснабжения животноводческих объектов следует понимать комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающих добычу, хранение, подготовку и подачу воды к потребителю. В зависимости от конкретных условий система водоснабжения реализуется по одной из типовых схем (рис. 1.1).

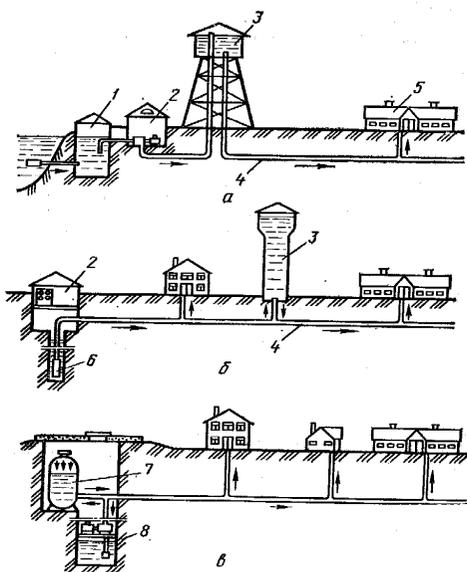


Рис. 1.1. Схемы систем водоснабжения при заборе воды:  
а – из открытого водоема; б – из бурового колодца; в – из шахтного колодца; 1 – береговой колодец; 2 – насосная станция; 3 – водонапорная башня; 4 – водопроводная сеть; 5 – потребители воды; 6 – погружной насос; 7 – воздушно-водяной бак; 8 – вихревой насос.

Система водоснабжения включает в себя источники воды (водозаборы, скважины, колодцы), водоподъемные машины и оборудование, средства для очистки и подготовки воды, водонапорные сооружения, наружные и внутренние водопроводные сети, водопроводная арматура, поилки и другое оборудование.

Выбор схемы водоснабжения зависит от таких факторов как наличие и доступность источников, вид и дебит источника, расстояние до объекта водоснабжения, качество воды в источнике, потребность фермы в воде, режимы и неравномерность потребления, вероятность загрязнения и т.д.

Важнейшим критерием является потребность фермы в воде, которая определяется исходя из нормативов потребления на поение и различные технологические нужды. Особенностью разработки нормативов потребления воды на поение животных является необходимость учета физиологических потребностей и поведенческих стереотипов у различных сельскохозяйственных животных и птицы. При этом приходится учитывать как суточную, так и сезонную неравномерность потребления.

Потребность в воде на технологические нужды определяется технологией производства продукции на ферме. При этом учитывается вода, необходимая для приготовления кормов, уборки навоза, санитарной обработки оборудования и помещений. В зависимости от вида животных, технологии и способа содержания, набора технологического оборудования, типа кормления для каждой фермы расход воды определяется строго индивидуально согласно нормам расхода воды. Усредненные данные расхода воды на поение и обеспечение технологических процессов приводятся в табл. 1.1.

Потребность воды на поение животных определяется как:

$$Q_{\text{ср.сут.}} = (m_1q_1) + (m_2q_2) + (m_3q_3) + (m_4q_4) , \quad (1.1)$$

где  $m_{1,2,3,4}$  - количество животных по половозрастным группам;  
 $q_{1,2,3,4}$  - суточная норма на поение

Максимальный суточный, часовой и секундный расход определяется с учетом неравномерности потребления.

$$Q_{\text{макс.сут.}} = Q_{\text{ср.сут.}} \cdot a_1 \quad (1.2)$$

$$Q_{\text{макс.час}} = \frac{Q_{\text{макс.сут.}} \cdot a_2}{24} \quad (1.3)$$

$$Q_{\text{макс.сек}} = \frac{Q_{\text{макс.час}}}{3600} , \quad (1.4)$$

где  $a_1 = 1,3$ ;  $a_2 = 2,5$  –коэффициенты суточной неравномерности.

Таблица 1.1. Нормы расхода воды для животных и птицы на механизированных фермах

Виды животных и птицы	Нормы расхода воды, л
Коровы молочные	100
Коровы мясные	75
Быки и нетели	60
Молодняк	30
Телята	20
Лошади рабочие	60
Лошади племенные	80
Жеребята до 1,5 года	45
Овцы взрослые	10
Молодняк овец	6
Свиноматки с поросятами	60
Свиноматки супоросные и холостые	25
Хряки-производители	25
Поросята-отъемыши	5
Свиньи на откорме и молодняк	15
Куры	1
Индейки	1,5
Утки и гуси	2,0
Кролики	3,0

Расход воды определяется с учетом потребности на реализацию различных технологических операций (табл. 1.2.).

Определенное количество воды может использоваться для мойки корнеклубнеплодов.

$$Q_{м.к.} = (m_1 k_1 q_k) + (m_2 k_1 q_k) + (m_3 k_3 q_k) + (m_4 k_4 q_k), \quad (1.5)$$

где  $k_1$  - суточная норма скармливания корнеклубнеплодов по половозрастным группам;

$q_k$  - норма расхода воды на 1 кг корма.

Таблица 1.2. Примерные нормы расхода воды на отдельные операции

Наименование операций	Суточный расход воды на операцию, л/сут.
Мойка корнеклубнеплодов (на 1 кг)	0,8...1,5
Увлажнение солоистой резки (на 1 кг)	1,0...1,5
Осолаживание и дрожжевание кормов (на 1 кг)	1,5...2,0
Приготовление мешанок для свиней (на 1 кг)	0,75...1,0
Получение и первичная обработка молока (на 1 л)	3...7
Первичная переработка молока (на 1 л)	5...7
Механизированный кормоцех (на 1 кг сухого корма)	1,5...2,0
Мойка машин и оборудования (на 1 машину)	50
Мойка посуды (на 1 кг корма)	0,8...1,0
Ежесменная мойка пола на 1 м <sup>2</sup>	3...5
Питание парового котла (на 1 м <sup>2</sup> поверхности нагрева на 2 ч)	25...30
Бытовые нужды (душевая, санузел и др. из расчета на одного работающего)	40...60

Количество воды для технологических нужд (машинное доение и первичная переработка молока), мойку секций и оборудования, на санитарно-гигиенические цели

$$Q_{техн.} = C_{м.д.} \cdot q_{м.д.} + 20n, \quad (1.6)$$

где  $C_{м.д.}$  - суточный валовой надой молока;

$q_{м.д.}$  - расход воды на получение и обработку 1 литра молока (подмывание вымени, мойку молочного оборудования, предварительное охлаждение молока);

$n$  - количество работников.

В расчетах необходимо учитывать расход воды и пара для приготовления кормов, а также расход воды на удаление навоза и другие технологические нужды.

Неприкосновенный противопожарный запас  $Q_{П.з.}$  определяется исходя из длительности тушения пожара в течение 10 минут из пожарных гидрантов с интенсивностью 10 л/сек.

$$Q_{сут.} = Q_{max.сут.} + Q_{м.к.} + Q_{техн.} + Q_{П.з.} \quad (1.7)$$

При приближенных расчетах регулируемый объем бака определяется как 15-25 % от максимального суточного расхода на поение и технические цепи. Аварийный запас рассчитывается из запаса воды на 2 часа при отказе насоса

$$V_{\text{бака}} = 0,2(Q_{\text{пых.сут}} + Q_{\text{техн.}} + Q_{\text{м.к.}}) + Q_{\text{п.з.}} + \frac{2(Q_{\text{пых.сут.}} + Q_{\text{техн.}} + Q_{\text{п.з.}})}{24} \quad (1.8)$$

В ряде случаев возникают непредвиденные затраты. Например, в летнее время резко возрастает расход через поилки в помещении для содержания свиней, когда животные охлаждаются, разливая и играясь с водой.

## 1.2. Источники водоснабжения

Источники водоснабжения делятся на две группы: [40] открытые и подземные. К открытым источникам относятся реки, водохранилища, озера, пруды, ручьи и др. Открытые источники воды являются самыми доступными и удобными в использовании. Однако воду с таких источников необходимо очищать и обеззараживать [12] (рис. 1.4).

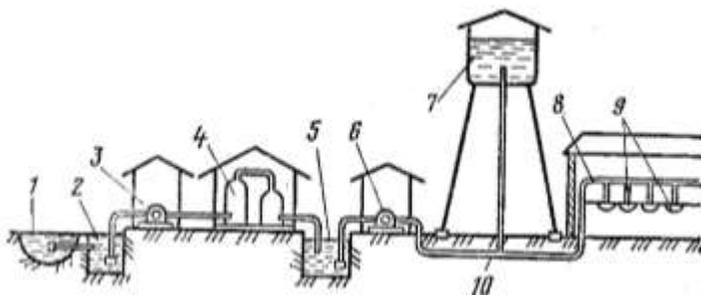


Рис. 1.2. Схема механизированного водоснабжения:

1 – источник воды; 2 – водозаборное сооружение; 3 – насосная станция первого подъема воды; 4 – очистительное сооружение; 5 – резервуар для чистой воды; 6 - насосная станция второго подъема; 7 – напорное сооружение; 8 – внутренний водопровод; 9 – водораздаточные устройства; 10 – внешний водопровод.

При заборе воды из открытых источников строятся специальные прибрежные или русловые сооружения для забора воды (рис. 1.3, 1.4).

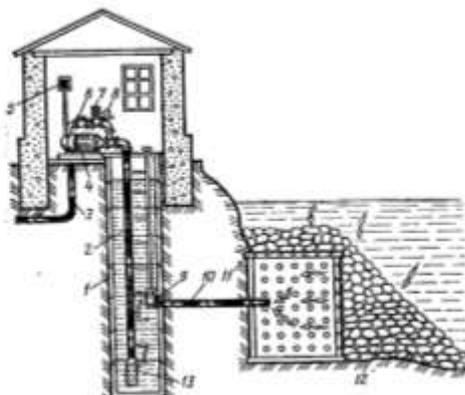


Рис. 1.3. Насосная станция с центробежным насосом типа КМ и водозаборным сооружением берегового типа:

1- приемный колодец; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – нагнетательный трубопровод; 4 – центробежный насос с электродвигателем; 5 – станция управления; 6 – обратный клапан; 7 – регулировочная задвижка; 8 – манометр; 9 – задвижка; 10 – самотечная труба; 11 – водоприемник; 12 – фильтр; 13 – приемный клапан с сеткой-фильтром.

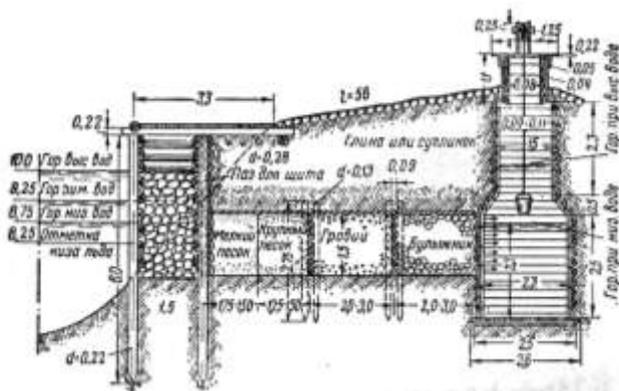


Рис. 1.4. Русловый водозабор

С санитарно-гигиенической точки зрения предпочтительней закрытые грунтовые источники воды [28]. Грунтовыми называют источники, где используется вода, содержащаяся в пустотах грунта (рис. 1.5).

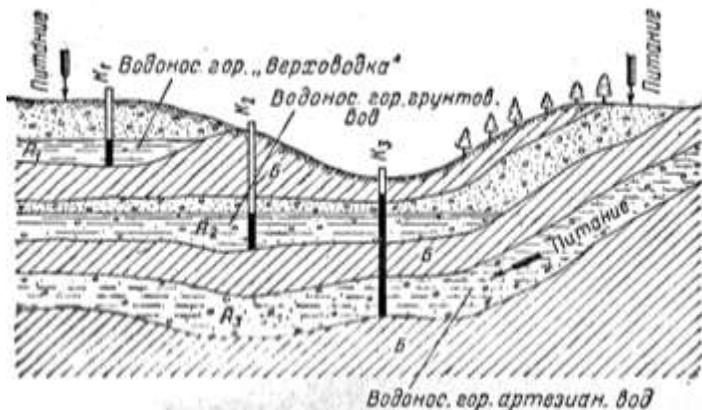


Рис. 1.5. Схема залегания водоносных горизонтов:

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – водоносные горизонты (первый, второй и третий); Б – водонепроницаемые пласты;  $K_1$  – колодец, питающийся «верховодкой» (почвенная вода);  $K_2$  – колодец, питающийся грунтовой (безнапорной) водой;  $K_3$  – колодец, питающийся артезианской (напорной) водой.

Грунтовые воды бывают со свободной поверхностью (безнапорные) и межпластовые. Межпластовые воды залегают между двумя водонепроницаемыми слоями и могут быть напорными (артезианскими) и безнапорными. Преимущество артезианских вод заключается в их высокой чистоте, а также в отсутствии необходимости поднимать воду из скважины, поскольку значительная часть артезианских скважин относится к самоизливающимся источникам [27].

В тоже время, разведка и добыча глубоко залегающих артезианских вод представляется достаточно сложной технической задачей. Поэтому в большинстве случаев для водоснабжения животноводческих объектов используются безнапорные межпластовые и грунтовые со свободной поверхностью воды. Такая вода добывается с помощью шахтных или трубчатых (буровых) колодцев (рис.1.6).

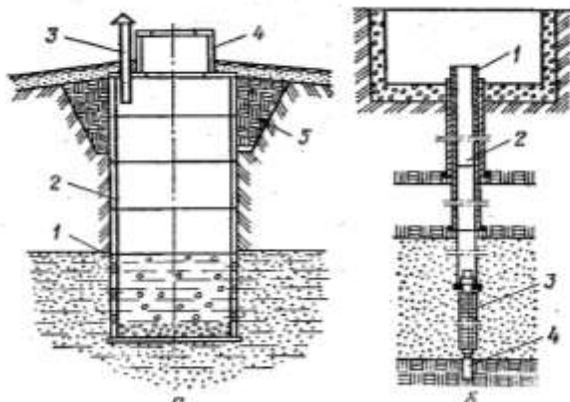


Рис. 1.6. Водозаборные сооружения:

а – шахтный колодец: 1 – водоприемная часть; 2 – шахта (ствол); 3 – вентиляционная труба; 4 – оголовок; 5 – глиняный замок;  
 б – буровая скважина: 1 – устье; 2 – эксплуатационная колонна; 3 – фильтр; 4 – отстойник.

Необходимо отметить, что неглубоко залегающие воды со свободной поверхностью часто содержат большое количество загрязнителей, поступающих с поверхности почвы и с верхних слоев грунта. Наиболее распространенными загрязнителями являются нитраты, образующиеся вследствие интенсивного использования минеральных и органических удобрений, соли железа, а также микрофлора, попадающая в грунтовые воды вместе с навозными и канализационными стоками.

### 1.3. Водоподъемные устройства и насосы

Для подъема воды традиционно применялись устройства и механизмы, использующие мускульную силу человека. На рис.1.7 представлен ручной насос Альвейера. Ленточный или шнуровой подъемник воды (рис. 1.8) может приводиться в действие от электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания, ветродвигателя и др.

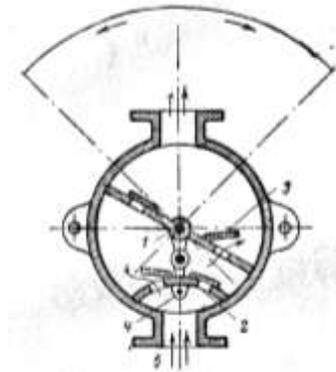


Рис. 1.7. Ручной насос системы Альвейера (разрез):

- 1 – крыло; 2 – всасывающий клапан; 3 – нагнетательный клапан;  
 4 – неподвижная диафрагма с двумя всасывающими клапанами;  
 5 – всасывающая труба.

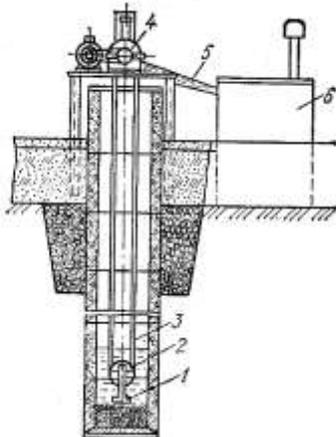


Рис. 1.8. Ленточный водоподъемник:

- 1 – натяжной груз; 2 – холостой блок; 3 – бесконечная лента; 4 – кожух;  
 5 – сливной патрубкок; 6 – резервуар.

Для подъема воды и очистки скважин могут применяться воздушные водоподъемники (рис. 1.9).

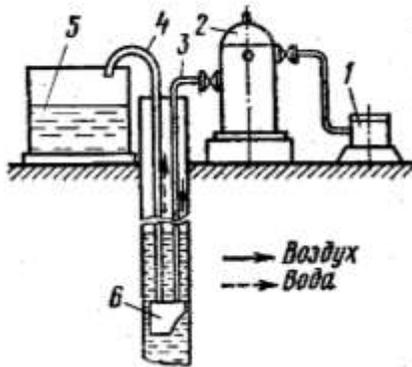


Рис. 1.9. Воздушный водоподъемник:

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – воздушная труба; 4 – водоподъемная труба; 5 – сборный резервуар; 6 – башмак-форсунка (смеситель).

Гидравлический таран [41] (рис. 1.10) позволяет использовать кинетическую энергию потока падающей воды для подъема небольшой ее части на нужную высоту. При этом отпадает необходимость в энергоснабжении такого объекта.

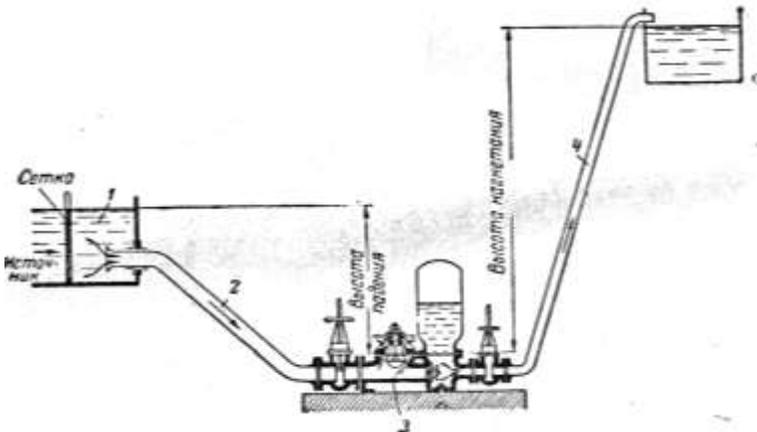


Рис. 1.10. Схема таранной установки:

1 – питательный резервуар; 2 – питательная труба; 3 – таран; 4 – водонапорная труба.

В настоящее время основные объемы воды перекачиваются при помощи насосов. Насос – это гидравлическая машина, предназначенная для подъема, нагнетания и перемещения жидкости. Насосы разделяют на две группы: лопастные и объемные. Лопастные насосы работают по принципу перемещения воды за счет динамического действия лопаток вращающегося в камере рабочего колеса. К данным насосам относятся вихревые, центробежные и осевые (пропеллерные). Наименее применяемыми насосами лопастного типа являются осевые пропеллерные насосы.

Центробежные насосы делятся на две группы. К первой группе относятся консольные насосы типа К и КМ, которые устанавливаются над поверхностью воды (рис. 1.11).

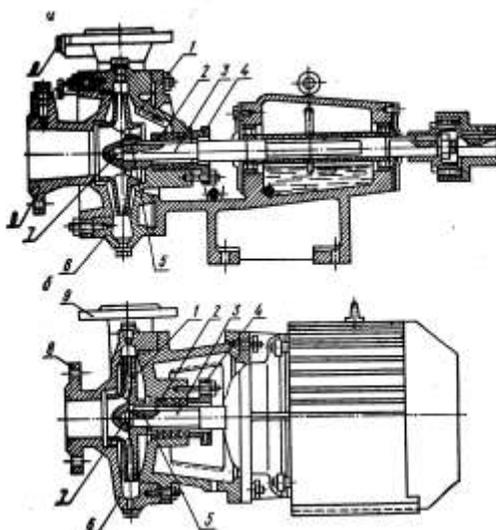


Рис. 1.11. Консольные насосы К(а) и КМ(б):

- 1 – рабочее колесо; 2 – сальниковые набивки; 3 – вал; 4 – сальник;
- 5 – шпонка; 6 – корпус; 7 – гайка; 8 – входной патрубок;
- 9 – нагнетательный патрубок.

Отличие между ними заключается в том, что у насосов типа К рабочее колесо непосредственно зафиксировано на валу ротора электродвигателя, что вызывает определенные сложности при техническом обслуживании и ремонте. У насосов типа КМ сам

насос присоединяется к электродвигателю при помощи специальной присоединительной муфты, что упрощает обслуживание и ремонт насосов данного типа.

Основным недостатком консольных центробежных насосов является их неспособность к самовсасыванию, поэтому в рабочей камере должна постоянно присутствовать вода. У центробежных насосов на конце всасывающего трубопровода имеется запорный клапан рис. 1.12. Необходимо отметить, что центробежные консольные насосы не способны эффективно поднимать воду с глубины более 10 м.

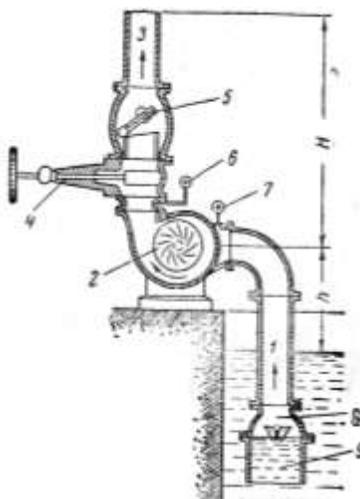


Рис. 1.12. Центробежный насос:

- 1 – всасывающая труба;
- 2 – колесо;
- 3 – нагнетательная труба;
- 4 – регулирующая задвижка;
- 5 – обратный клапан;
- 6 – манометр;
- 7 – вакуумметр;
- 8 – всасывающий клапан;
- 9 – сетка.

Наибольшее распространение среди вихревых получили насосы типа ВКС. Вихревые насосы при одинаковых габаритах и равных скоростных режимах по сравнению с центробежными насосами создают напор в 2-3 раза больший. В отличие от центробежных насосов они являются самовсасывающими и не требуют запорного клапана на конце всасывающей трубы. Вихревой насос представлен на рис. 1.13.

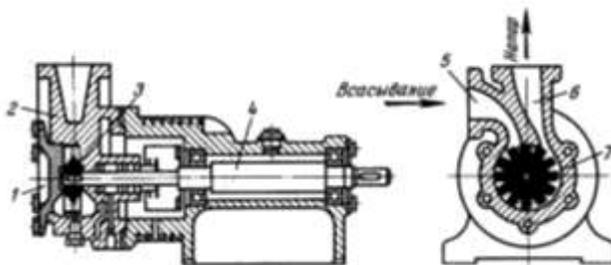


Рис. 1.13. Вихревой насос:

1 – фланец; 2 – корпус; 3 – рабочее колесо; 4 – вал; 5 – всасывающий патрубок; 6 – нагнетательный патрубок; 7 – канал.

Вихревые насосы имеют меньший КПД чем центробежные консольные насосы. С целью увеличения напора центробежного насоса применяют водоструйные установки (рис. 1.14).

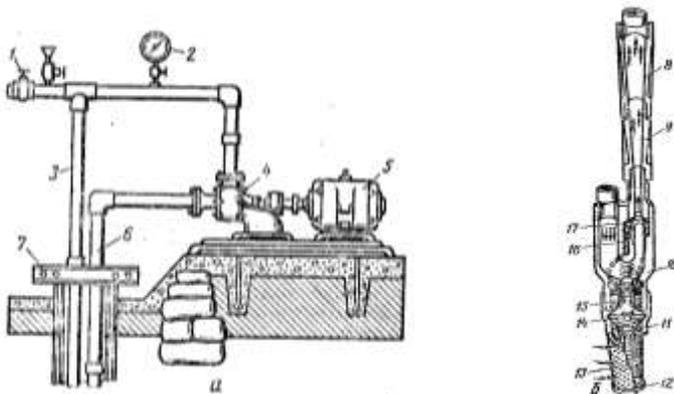


Рис. 1.14. Водоструйная установка ВН-2-8(а) и водоструйный насос (б):

1 – задвижка; 2 – манометр; 3 – нагнетательная труба; 4 – центробежный насос; 5 – электродвигатель; 6 – водоподъемная труба; 7 – хомут крепления; 8 – верхняя часть диффузора водоструйного насоса; 9 – диффузор; 10 – корпус водоструйного насоса; 11 – корпус приемника; 12 – заглушка; 13 – фильтр; 14 – приемный клапан; 15 – приемная камера; 16 – камера смешивания; 17 – сопло.

Вторая группа центробежных насосов представлена множеством моделей погружных агрегатов. Наиболее широкое распространение получили погруженные насосы типа ЭЦВ, где количество рабочих колес варьируется от 4 до 10 штук [22]. Такие насосы в процессе эксплуатации постоянно находятся в воде и служат для подъема воды с глубин более 30 метров. Устройство, принцип действия, характеристики и расчет погружных насосов типа ЭЦВ приведены ниже в главе 2.

Объемные насосы работают по принципу вытеснения воды из рабочей камеры в напорную сеть. К этим насосам относят плунжерные, поршневые, диафрагмальные, шестеренные, ротационные, винтовые и вибрационные.

#### **1.4. Водонапорные сооружения**

Резервуары-накопители необходимы для обеспечения резервного запаса питьевой воды и водяного напора для подачи потребителям. Расход воды для обеспечения производственных помещений, ферм неравномерный по часам суток. В водопроводных сетях применяются два типа водонапорных сооружений – башенного (рис. 1.15). типа и безбашенные.

Для поддержания необходимого запаса питьевой воды резервуары укомплектованы в большинстве случаев автоматическими устройствами или сигнальным оборудованием. Контролируют и управляют расходом воды и ее поступлением в резервуары специальные датчики уровней и давления, сигналы от которых поступают на электрические цепи управления электроприводом водяного насоса.

При разработке систем автоматизации возникает необходимость определения времени расхода воды из резервуара от верхнего уровня до нижнего уровня. После чего определяется число включений автоматического наполнения.

Время расхода с разных резервуаров необходимо учитывать при расчете процессов по теплообмену, особенно в зимний период, чтобы предотвратить возможность замерзания. Известно, что многократное заполнение резервуара свежей водой не приводит к замерзанию даже при  $30^0$  морозе.

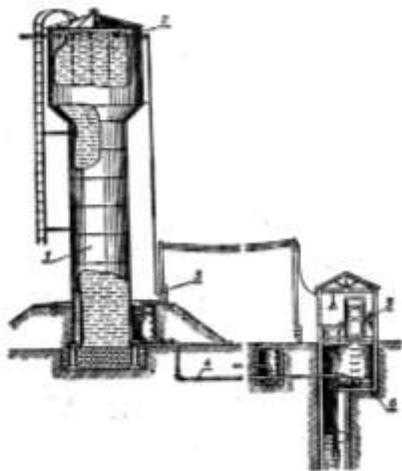


Рис. 1.21. Башенная водокачка:

1 – водонапорная башня; 2 – датчик уровней; 3 – пост управления;  
4 – напорно-разводящая труба; 5 – станция управления; 6 – насосная  
(водоструйная) установка

Необходимость чередовать водообмен определяется в каждом конкретном случае для резервуара-накопителя с расчетом геометрических, теплоизоляционных и других параметров, а также с учетом влияния окружающих условий. Нет необходимости делать большой запас питьевой воды, потому что застаивание негативно влияет на качество, а значит на вкусовые качества и продуктивность животных. Поэтому выбор величины резервуара для водоснабжения должен быть оптимальным с учетом времени наполнения и времени расхода воды из наполненного резервуара.

Расчет системы водоснабжения как кольцевой, так и тупиковой ведется с учетом скорости подачи и расхода воды, которая находится в определенной зависимости от уровня воды в емкости. Кроме того, время расхода с разных емкостей рассчитывается при проектировании дозирующих устройств в разных технологических линиях.

В башенных водонапорных сооружениях давление (напор) воды в водопроводе создается за счет потенциальной энергии воды, поднятой на определенную высоту (рис. 1.16). Башня со-

стоит из бака 1, соединительной части 2, ствола 3, которые имеют разные диаметры и высоту. На животноводческих фермах в основном применяются водонапорные башни конструкции А. А. Рожновского трех размеров на 15, 25 и 50 м<sup>3</sup> [16, 82]. В зависимости от потребности в воде на фермах и комплексах могут устанавливаться несколько таких водонапорных башен.

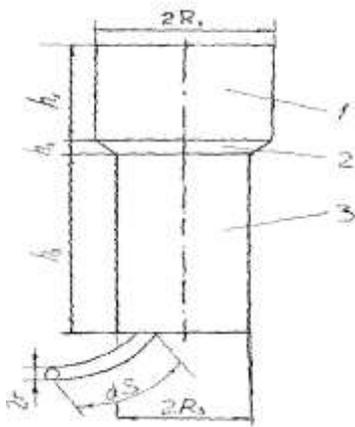


Рис. 1.16. Башня конструкции инженера Рожновского

Для каждой из них время расхода воды определяется исходя из следующих зависимостей. В баке 1:

$$dw_1 = -\pi R_1^2 dh_1, \quad (1.9)$$

где  $R_1$  – радиус бака,

$dh_1$  – дифференциал высоты бака.

В свою очередь, расход элементарного объема воды через трубопровод радиусом  $r$  определяется как:

$$dw_1 = \pi r^2 ds, \quad (1.10)$$

где  $ds$  – элементарная длина пути движения воды.

$ds = v dt$ , где  $v$  – скорость движения струи.

Согласно закону Паскаля  $v = \delta \sqrt{2gh}$ , где  $\delta$  – коэффициент для воды, равный 0,6.

Учитывая, что скорость  $v$  свободного вытекания воды в зависимости от высоты  $h$  водяного столба равна  $v = \sqrt{2gh}$ , время вытекания воды из бака составит:

$$t_1 = \frac{2R_1^2}{r^2 \delta \sqrt{2g}} \left( \sqrt{h_3 + h_2 + h_1} - \sqrt{h_3 + h_2} \right) \quad (1.11)$$

Время  $t_2$  вытекания воды из емкости соединительной части 2 определяется приблизительно, путем замены переменного радиуса  $R_c$  его средним значением:

$$R_c = \frac{R_1 + R_3}{2} \quad (1.12)$$

$$\text{Время} \quad t_2 = \frac{(R_1 + R_3)^2}{2r^2 \delta \sqrt{2g}} \left( \sqrt{h_3 + h_2} - \sqrt{h_3} \right) \quad (1.13)$$

Время вытекания воды из трубопровода:

$$t_3 = \frac{2R_3^2}{r^2 \delta \sqrt{2g}} \sqrt{h_3} \quad (1.14)$$

Время  $t$  полного вытекания воды из водонапорной башни определяется как сумма сложенных компонентов:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{1}{r^2 \delta \sqrt{2g}} \cdot \left[ 2R_1^2 \left( \sqrt{h_1 + h_2 + h_3} - \sqrt{h_2 + h_3} \right) + \frac{(R_1 + R_3)^2}{2} \left( \sqrt{h_2 + h_3} - \sqrt{h_3} \right) + 2R_3^2 \sqrt{h_3} \right] \quad (1.15)$$

#### 1.4.1. Горизонтальный цилиндрический резервуар

На рис. 1.17 представлена схема горизонтального цилиндрического резервуара. Элементарный вмещающий объем воды определяется как:

$$dw = -2Rl \cos \alpha \cdot dh, \quad (1.16)$$

где  $\alpha$  – угол между горизонтальной линией симметрии круглого днища резервуара и его радиусом  $R$

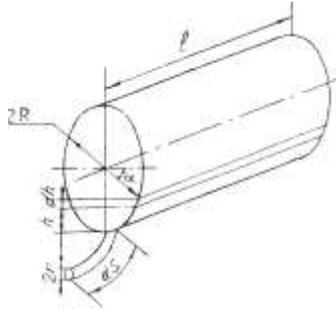


Рис. 1.17. Горизонтальный цилиндрический резервуар

$$h = R - R \sin \alpha . \quad (1.17)$$

Элементарный объем:

$$dw = -2R^2 l \cos^2 \alpha \, d\alpha . \quad (1.18)$$

Объем, вытекший через трубопровод радиусом  $r$ , определяется:

$$dw = -\pi r^2 ds = -\pi r^2 v \, dt , \quad (1.19)$$

где  $v$  – скорость вытекания воды, которая равна:

$$v = \delta \sqrt{2gh} = \delta \sqrt{2gR} \cdot \sqrt{1 - \sin \alpha} \quad (1.20)$$

Приравнивая значения элементарных объемов получим:

$$-2R^2 l \cos^2 \alpha \, d\alpha = -\pi r^2 \delta \sqrt{2gR} \cdot \sqrt{1 - \sin \alpha} \, dt \quad (1.21)$$

Время  $t$  полного вытекания воды из горизонтального цилиндрического резервуара:

$$t = \frac{2R^2 l}{\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\cos \alpha \, d\alpha}{\sqrt{1 - \sin \alpha}} \quad (1.22)$$

Для определения интеграла (5.14) необходимо ввести  $\sin \alpha = z$ . Тогда  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$ , а  $dz = \cos \alpha \, d\alpha$ . Выражение  $\sqrt{1 - z^2} = \sqrt{1 - z} \cdot \sqrt{1 + z}$ .

После замены новых переменных имеем:

$$t = \frac{4R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}} \left[ (1 + \arcsin z_2)^{\frac{3}{2}} - (1 + \arcsin z_1)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (1.23)$$

Значение угла  $\alpha$  (начального и через некоторое время) может быть каким угодно. Тогда время вытекания воды с полного цилиндрического резервуара равно:

$$t = \frac{8R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{gR}}, \text{ или } t = \frac{8Rl}{3\pi r^2 \delta} \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1.24)$$

Время  $t$  вытекания воды из верхней части данного резервуара будет:

$$t_{0,5B} = \frac{4R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}}$$

Из нижней половины резервуара:

$$t_{0,5H} = \frac{4R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}} \left[ (1+1)^{\frac{3}{2}} - 1 \right] = \frac{4R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}} \left( 2^{\frac{3}{2}} - 1 \right)$$

Тогда отношение:

$$\frac{t_{0,5H}}{t_{0,5B}} = \left( 2^{\frac{3}{2}} - 1 \right) = 1,82,$$

а время вытекания воды из первой и второй частей резервуара:

$$t = t_{0,5H} + t_{0,5B} = \frac{4R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}} \left( 1 + 2^{\frac{3}{2}} - 1 \right) = \frac{8R^2 l}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2gR}} = \frac{8Rl}{3\pi r^2 \delta} \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1.25)$$

#### 1.4.2. Эллипсный резервуар

Вытекание воды из эллипсного резервуара (рис.1.18):

$$dw = -(x_1 - x_2) \angle dy \quad (1.26)$$

Исходя из уравнения эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (1.27)$$

Тогда

$$x_1 = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2}, \quad x_2 = -\frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2}. \quad (1.28)$$

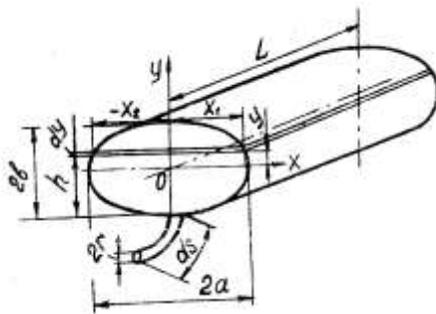


Рис. 1.18. Эллипсный резервуар

После введения переменных и подстановки значений получим:

$$dw = 2\angle \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y^2} dy \quad (1.29)$$

При условии, что вытекание воды проходит через трубопровод круглого сечения радиусом  $r$ , согласно закону Паскаля, элементарный уменьшающийся объем воды через данный трубопровод определяется таким образом:

$$dw = -\pi r^2 ds = -\pi r^2 v dt = -\pi r^2 \delta \sqrt{2g} \cdot \sqrt{b+y} dt \quad (1.30)$$

Приравнявая элементарные объемы, имеем

$$2\frac{a}{b} \angle \sqrt{b^2 - y^2} dy = -\pi r^2 \delta \sqrt{2g} \sqrt{b+y} dt \quad (1.31)$$

После превращения и интегрирования правой и левой частей данного равенства находим время  $t$  полного вытекания воды из горизонтального эллипсного резервуара:

$$t = \frac{8\angle a \sqrt{b}}{3\pi r^2 \delta \sqrt{2g}} = \frac{8\angle a}{3\pi r^2 \delta} \sqrt{\frac{b}{2g}} \quad (1.32)$$

Используя уравнение (1.88) получим после интегрирования следующее:

$$t_{0,5B} = \frac{4\angle a}{3\pi r^2 \delta} \sqrt{\frac{b}{2g}} = \frac{4 \cdot 2,99 \cdot 1,0567}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2 \cdot 0,6} \sqrt{\frac{1,42}{2 \cdot 9,81}} = 9625 \text{ с.}$$

$$t_{0,5H} = \frac{4\angle a}{3\pi r^2 \delta} \sqrt{\frac{b}{2g}} (2\sqrt{2} - 1) = \frac{4 \cdot 1,0567 \cdot 2,99}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2 \cdot 0,6} \sqrt{\frac{1,42}{2 \cdot 9,81}} (2\sqrt{2} - 1) = 17594 \text{ с} \quad (1.33)$$

Таким образом, из нижней части эллипсного резервуара вода вытекает в 1,8 раза медленней, чем из верхней части.

### 1.4.3. Шаровая башня

В некоторых случаях бак водонапорной башни изготавливается в виде шара. Возникает потребность определения времени свободного вытекания воды из такой емкости.

Используем ранее рассмотренную методику расчета. На рис. 1.19 показана схема водонапорной башни с шаровым баком. Выбрана система координат  $XOY$ , начало отсчета, которой находится в нижней части опоры.

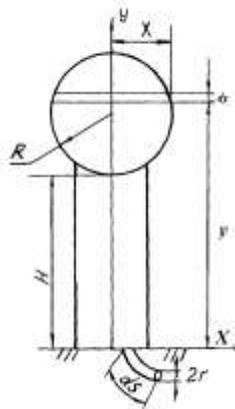


Рис. 1.19. Шаровая башня

Элементарный вытекающий объем воды  $dw$  из шара можно определить в виде:

$$dw_1 = \pi x^2 dy. \quad (1.34)$$

Элементарный объем воды, которая вытекает  $dw_2$ :

$$dw_2 = -\pi r^2 \delta \sqrt{2gy} dt \quad (1.35)$$

Определим из рис. 1.19 величину

$$x^2 + (y - H - R)^2 = R^2$$

Или упрощая:

$$x^2 = 2(R + H)y - y^2 - H(H + 2R).$$

После подстановок и решая уравнение относительно времени вытекания воды и интегрируя его в границах от  $H+2R$  до  $H$ , после замены интервалов интегрирования имеем:

$$t = \frac{4(R+H)}{3r^2\delta\sqrt{2g}} \left[ (H+2R)^{\frac{3}{2}} - H^{\frac{3}{2}} \right] - \frac{2}{5r^2\delta\sqrt{2g}} \left[ (H+2R)^{\frac{5}{2}} - H^{\frac{5}{2}} \right] - \frac{2H(H+2R)}{r^2\delta\sqrt{2g}} \left[ \sqrt{H+2R} - \sqrt{H} \right] \quad (1.36)$$

В том случае, если рассматривать процесс вытекания воды непосредственно из самого шара, тогда при условии, что  $H=0$ , получим следующий вид уравнения:

$$t = \frac{4R}{3r^2\delta\sqrt{2g}} (2R)^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{5r^2\delta\sqrt{2g}} (2R)^{\frac{5}{2}} \quad (1.37)$$

После упрощения данного выражения, имеем

$$t = \frac{16R^2}{15r^2\delta} \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1.38)$$

Пример. Время свободного вытекания воды из шаровой башни при условии, что радиус  $R=1,5$  м;  $H=10$  м;  $r=0,025$  м;  $\delta=0,6$  равно 1249 с. Время вытекания воды при условии, что опора отсутствует, то есть  $H=0$ , составит  $t=2503$  с.

#### 1.4.4. Объем горизонтального резервуара

На рис. 1.20 представлена схема резервуара в виде эллипса.

Элементарная площадь равна

$$dF = ydx. \quad (1.39)$$

Используя уравнение эллипса запишем:

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2} \quad (1.40)$$

После подстановки данного значения в выражение (1,95) и интегрирования обеих частей, имеем:

$$F_{0,25} = \frac{b}{a} \int_0^a \sqrt{a^2 - x^2} dx. \quad (1.41)$$

Определяем четверть площади эллипса, после чего определяем все значения.

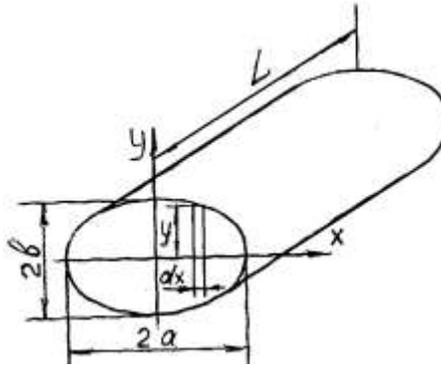


Рис. 1.20. Горизонтальный резервуар

Для решения интеграла вводим замену переменной величины  $x$  и новые интервалы:

$$x = a \cdot \cos z \quad (1.42)$$

После подстановок и преобразования получим

$$F_{0,25} = -ab \int_{\pi/2}^0 \sin^2 z \, dz \quad (1.43)$$

После замены  $\sin^2 z = \frac{1 - \cos 2z}{2}$  и интегрирования имеем

$$F_{0,25} = -\frac{ab}{2} \int_{\pi/2}^0 dz + \frac{ab}{4} \int_{\pi/2}^0 \cos 2z d(2z) = \frac{\pi ab}{4} \quad (1.44)$$

Объем водонапорной башни определяется как сумма составляющих:

$$\text{бака } w_1 = \pi R_1^2 h_1;$$

$$\text{ствола } w_3 = \pi R_3^2 h_3;$$

соединительной части 2.

После подстановок и интегрирования его в пределах от 0 до  $h_2$  получим

$$w_2 = \frac{\pi h_2}{3} (R_1^2 + R_1 R_3 + R_3^2). \quad (1.45)$$

Так как водонапорная безшатровая башня целый год находится под воздействием окружающей среды, необходимо определить ее боковую поверхность, которая одновременно является поверхностью теплообмена. Элементарная боковая поверхность  $dF_2$  определяется таким выражением:

$$dF_2 = 2\pi y ds,$$

где  $ds$  – дифференциал дуги, которая равна  $\sqrt{1 + y'^2} dx$ .

После превращения и интегрирования имеем:

$$F_2 = 2\pi \int_0^{h_2} \left( R_3 + \frac{R_1 - R_3}{h_2} x \right) \sqrt{1 + \frac{(R_1 - R_3)^2}{h_2^2}} dx = \pi(R_1 + R_3)l_2, \quad (1.46)$$

где  $l_2$  – длина образующей, которая равна  $l_2 = \sqrt{h_2^2 + (R_1 - R_3)^2}$ .

#### 1.4.5. Определение параметров автоматического управления водонапорной башней

Для повышения надежности улучшения условий обслуживания водонапорные башни комплектуются системой автоматического управления (рис. 1.21). Бак 1, который удерживается на стойке 2 комплектуется электронными датчиками верхнего 3 и нижнего 4 уровня. Как только вода достигает верхнего уровня, выключается электродвигатель водяного насоса, который подает воду в бак I, как только уровень воды уменьшается и достигает датчика 4 – электродвигатель водяного насоса 5 включается.

Для надежной работы автоматической системы управления необходимо, чтобы частота включений не превышала некоторое количество раз в сутки. С учетом выше сказанного, необходимо определить величину  $a$  – расстояние между нижним и верхним уровнем воды в баке 1. С целью использования такой методики решения выполним вычисления.

Емкость бака водонапорной башни выбирается с учетом суточной потребности воды для обеспечения товарных ферм. В большинстве случаев емкость бака составляет приблизительно

15% суточного расхода фермы. Для проведения расчетов принимаем емкость водонапорного бака  $25 \text{ м}^3$ . Из пропорции:  $25 - 15\%$ ;  $x - 100\%$

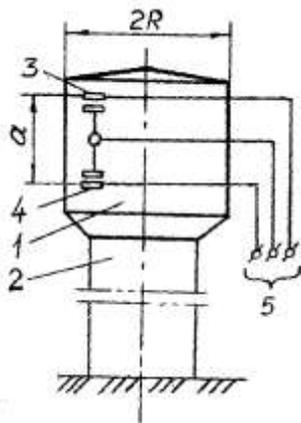


Рис. 1.21. Система автоматического управления

Суточная потребность воды фермы, обслуживаемой данной башней

$$x = \frac{25 \cdot 100}{15} = 166 \text{ м}^3.$$

Важно, что суточный расход воды используется в течение 16 часов. Тогда часовой расход  $q_{\Gamma}$  будет  $q_{\Gamma} = \frac{166}{16} = 10,375 \text{ м}^3$ .

Для надежной работы автоматизированной системы управления количество включений водяного насоса водонапорной башни за один час не должно превышать 5–6 раз. Поэтому расход воды за одно включение приравняют 5–6 частям часового расхода  $q_B$ , тогда

$$q_B = \frac{10,375}{5} = 2,075 \text{ м}^3.$$

Считаем, что объем воды в баке башни при ее диаметре  $D$  равен

$$q_B = \frac{\pi D^2}{4} a,$$

где  $a$  – расстояние между верхним и нижним контактами.

Необходимое расстояние  $a$  определяется при ( $D=2,5$  м):

$$a = \frac{4q_1}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 2,075}{3,14 \cdot 2,5^2} = 0,42 \text{ м.}$$

Таким образом, нижний уровень воды для автоматического управления водонапорной башней при данных геометрических параметрах составит 0,42 м.

#### 1.4.6. Оптимальные параметры бака водонапорной башни

Основной частью водонапорной башни является бак, который может иметь размер, в зависимости от емкости. Важно установить отношение его высоты к диаметру для того, чтобы использовать как можно меньше металла на его изготовление.

На рис. 1.22 изображена схема бака.

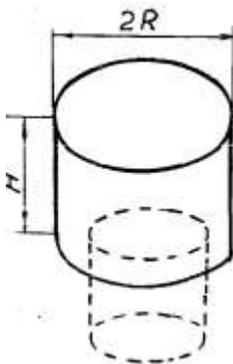


Рис. 1.22. Параметры бака

Емкость  $W$  бака составит

$$W = \pi R^2 H. \quad (1.47)$$

В упрощенном варианте можно утверждать, что боковая поверхность  $F$  бака складывается с боковой поверхности цилиндра  $2\pi RH$  и двух площадей круга  $2\pi R^2$ , тогда

$$F = 2\pi RH + 2\pi R^2. \quad (1.48)$$

При условии, что емкость бака имеет какое то постоянное значение, можно определить высоту  $H$  в виде отношения

$$H = \frac{W}{\pi R^2}. \quad (1.49)$$

После подстановки данного значения в уравнение боковой поверхности бака, имеем

$$F = \frac{2W}{R} + 2\pi R^2. \quad (1.50)$$

Из полученного уравнения видно, что площадь зависит только от одной переменной величины  $R$ , которую необходимо найти. Возьмем дифференциал уравнения боковой поверхности по параметру радиуса  $R$  и приравняем его к нулю.

$$\frac{\partial F}{\partial R} = -\frac{2W}{R^2} + 4\pi R = 0. \quad (1.51)$$

После замены значения емкости  $W$  в уравнении и преобразований получим такую зависимость:

$$H = 2R. \quad (1.52)$$

Тогда высота бака равна его диаметру.

Для того чтобы определить значение экстремума функции, необходимо взять вторую производную уравнения боковой поверхности и поставить знак.

$$\frac{\partial^2 F}{\partial R^2} = \frac{4W}{R^3} + 4\pi > 0. \quad (1.53)$$

Положительный знак свидетельствует о том, что экстремум функции имеет минимум. Тогда, в оптимальном варианте отношение диаметра бака к его высоте равно единице. При этих условиях расход металла на изготовление будет минимальным.

#### 1.4.7. Расчет анкерных болтов водонапорной башни

Для поддержания водонапорной башни в вертикальном положении сооружается фундамент, в котором предусматриваются колодцы для закладки удерживающих анкерных болтов, размер которых находится из следующих соображений. На рис. 1.23 (а) показана схема сил, которые воздействуют на водонапорную башню: сила тяжести башни –  $m_1g$ , сила тяжести удерживаемой воды –  $m_2g$ , силы ветра  $P_1, P_2, P_3$ , а также силы реакций в местах крепления анкерных болтов:  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  и  $T_6$ . На рис. 1.23 (б) изображена схема размещения лап, которыми

крепится башня к фундаменту. Рассмотрим такой случай, когда башня не наполняется водой, тогда  $m_2=0$ .

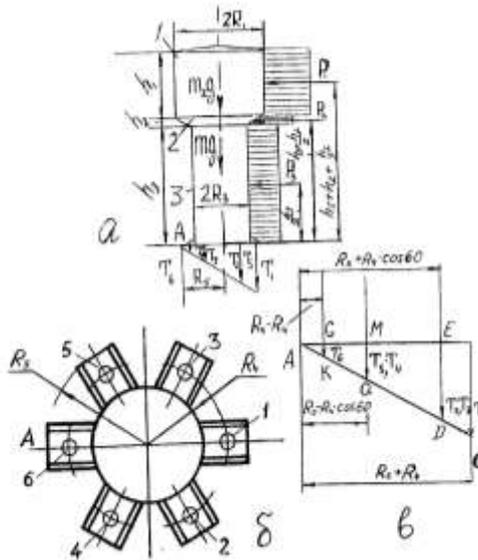


Рис. 1.23. Схема крепления башни

Больше всего башня может попасть под воздействие силы ветра. Видно, что максимальная сила ветра воздействует на площадь опоры  $F$ , и зависит от плотности воздуха  $\rho$  и квадрата скорости ветра  $v$ , тогда

$$P = F\rho v^2 \varepsilon, \quad (1.54)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент обтекания, который зависит от формы поверхности.

Водонапорную башню можно изобразить тремя поверхностями: бака 1, соединительной части 2 и ствола 3 (Рис. 1.24). Каждую силу рассчитаем и получим следующие значения:

$$P_1 = F_1\rho v^2 \varepsilon, \quad P_2 = F_2\rho v^2 \varepsilon, \quad P_3 = F_3\rho v^2 \varepsilon. \quad (1.55)$$

Приняв значения высоты бака, соединительной части и ствола соответственно за  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  получим выражения для площадей бака, соединительной части и ствола:

$$F_1 = 2R_1h_1; \quad F_2 = (R_1 + R_3)h_2; \quad F_3 = 2R_3h_3.$$

Из условия статического равновесия возьмем сумму моментов всех сил относительно точки  $A$  и запишем их в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^n M_A = \left[ 2R_1 h_1 \left( h_2 + h_3 + \frac{h_1}{2} \right) + (R_1 + R_3) h_2 \left( h_3 + \frac{h_2}{2} \right) + R_3 h_3^2 \right] v^2 \rho \varepsilon - (m_1 + m_2) g R_5 - T_1 (R_5 + R_4) - 2T_2 \left( R_5 + R_4 \cos \frac{\pi}{3} \right) - 2T_4 \left( R_5 - R_4 \cos \frac{\pi}{3} \right) - T_6 (R_5 - R_4) = 0 \quad (1.56)$$

На рис. 1.23 (б, в) показана схема расположения шести анкерных болтов 1, 2, 3, 4, 5 и 6, размещенных по кругу поверхности удержания башни. Из рисунка видно, что наибольшее натяжение получает анкерный болт, наиболее отдаленный от точки  $A$  возможного наклона башни относительно вертикального ее расположения. Запишем значения момента реакции в зависимости от натяжения анкерных болтов. При этом предполагаем, что силы  $T_2 = T_3$ , а  $T_5 = T_4$ . Из уравнения (1.56) видно, что реакции в точках  $T_2$  и  $T_3$ , а также в точках  $T_4$  и  $T_5$  взяты как двойное значение одного из них, тогда  $2T_2$  и  $2T_4$ .

Неизвестные значения реакций находим из рассматривая подобные треугольники.

$$\triangle ABC \sim \triangle AED \sim \triangle AMQ \sim \triangle AGK.$$

С учетом сказанного, имеем:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{R_5 + R_4}{R_5 + R_4 \cos \frac{\pi}{3}},$$

$$\frac{T_1}{T_4} = \frac{R_5 + R_4}{R_5 - R_4 \cos \frac{\pi}{3}},$$

$$\frac{T_1}{T_6} = \frac{R_5 + R_4}{R_5 - R_4}.$$

Из составленных пропорций находим:

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{R_5 + R_4 \cos \frac{\pi}{3}}{R_5 + R_4},$$

$$T_4 = T_1 \cdot \frac{R_5 - R_4 \cos \frac{\pi}{3}}{R_5 + R_4},$$

$$T_6 = T_1 \cdot \frac{R_5 - R_4}{R_5 + R_4}.$$

Найденные значения реакций подставляем в уравнения (1.56) суммы моментов сил, действующих на водонапорную башню и тогда имеем:

$$\sum M_A = \left[ 2R_1 h_1 \left( h_2 + h_3 + \frac{h_1}{2} \right) + (R_1 + R_3) h_2 \left( h_3 + \frac{h_2}{2} \right) + R_3 h_3^2 \right] v^2 \rho \varepsilon - (m_1 + m_2) g R_5 -$$

$$- T_1 (R_5 + R_4) - 2T_1 \frac{\left( R_5 + R_4 \cos \frac{\pi}{3} \right)^2}{R_5 + R_4} - 2T_1 \frac{\left( R_5 - R_4 \cos \frac{\pi}{3} \right)^2}{R_5 + R_4} - T_1 \frac{(R_5 - R_4)^2}{R_5 + R_4} = 0$$

Решая данные уравнения относительно силы реакций  $T_1$  натяжения анкерного болта, имеем:

$$T_1 = \frac{\left\{ 2R_1 h_1 \left( \frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 \right) + (R_1 + R_3) h_2 \left( \frac{h_2}{2} + h_3 \right) + R_3 h_3^2 \right\} v^2 \rho \varepsilon - (m_1 + m_2) g R_5}{(R_5 + R_4)^2 + 2 \left( R_5 + R_4 \cos \frac{\pi}{3} \right)^2 + 2 \left( T_5 + T_4 \cos \frac{\pi}{3} \right)^2 + (R_5 - R_4)^2} (R_5 + R_4).$$

Используя основное уравнение опоры материалов и решая его относительно диаметра  $d$  анкерного болта, имеем

$$d = 2 \sqrt{\frac{T_1}{\pi [\delta]}}, \quad (1.57)$$

где  $[\delta]$  – допустимое напряжение материалов на разрыв.

При условии отсутствия воды в башне ( $m_2=0$ ) рассчитываем диаметр анкерного болта при таких условиях: скорость ветра  $v=30$  м/с; плотность воздуха  $\rho=1,2928$  кг/м<sup>3</sup>; коэффициент обтекания  $\varepsilon=0,75$ . Параметры башни:  $2R_1=2,45$  м;  $h_1=2,99$  м;  $2R_3=1,48$  м;  $h_2=0,49$  м;  $h_3=9$  м;  $2R_4=1,6$  м;  $2R_5=1,7$  м;  $[\delta]=80$  МПа.

По известным уравнениям находим массу башни  $m$ , которая приблизительно равна 2582 кг. Сила тяжести 25329,4 Н. Значения  $T_1$  равны 38487 Н. Диаметр анкерного болта равен 0,0233 м или 23,3 мм. Принимаем  $d=24$  мм. Если скорость ветра  $v=40$  м/с, диаметр болта равен 30 мм.

В безбашенных водонапорных сооружениях давление воды в системе создается за счет сжатия до определенного уровня воздуха, содержащегося в баке (рис. 1.24)

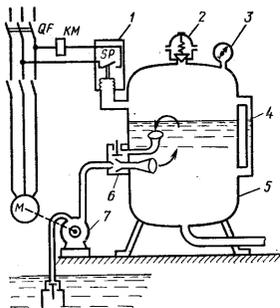


Рис. 1.24. Автоматическая безбашенная водоподъемная станция:

1 – реле давления; 2 – предохранительный клапан; 3 – манометр; 4 – водомерное стекло; 5 – воздушно-водяной котел; 6 – регулятор запаса воздуха; 7 – насос.

Безбашенное водонапорное сооружение может иметь в зависимости от производителя следующие названия – пневмобак, гидроаккумулятор и др.

### 1.5. Некоторые типы поилок

Автопоение представляет собой систему автоматических устройств или поилок, при помощи которых животное или птица самостоятельно получают из водопровода воду в нужном количестве. Поилки подразделяют на индивидуальные и групповые. Индивидуальные поилки применяют главным образом на фермах крупного рогатого скота с привязным содержанием и на свинофермах при содержании свиней в отдельных станках. Групповые поилки используют для поения скота на фермах при беспривязной боксовой системе содержания, в летних лагерях, на пастбищах, а также для свиней, овец и птицы при групповом содержании. Промышленность выпускает около 20 различных типов поилок. Групповые поилки могут быть стационарными и передвижными.

Обычно на ферме поилки подключают к водопроводу, а в зимнее время года на открытых площадках для поения животных применяют поилки с подогревом воды. По принципу действия поилки могут быть клапанными и вакуумными. Клапанные поилки, в свою очередь, разделяют на педальные и поплавковые.

Для автопоения крупного рогатого скота при беспривязном содержании применяют групповые автопоилки типа АГК-4 (рис.1.25)

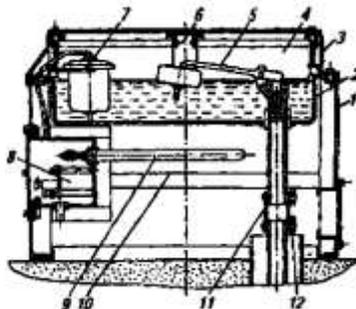


Рис 1.25 Групповая автопоилка АГК-4 с электроподогревателем: 1 – корпус; 2 – чаша; 3 – боковая стенка; 4 – откидная крышка; 5 – рычаг клапанно-поплавкового механизма; 6 – поперечина; 7 – терморегулятор; 8 – шкаф управления; 9 – нагреватель; 10 – отражатель; 11 – шланг; 12 – хомут

Групповая стационарная автопоилка АГК-4А с электроподогревом предназначена для поения крупного рогатого скота (до 100 голов) при беспривязном содержании на выгульных площадках в течение всего года. Одновременно можно поить четырех животных. Поилка состоит из прямоугольного корпуса с теплоизоляцией, поильной чаши вместимостью 60 л, клапана, поплавкового механизма, стояка для подключения к водопроводной сети, электронагревательного элемента мощностью 1 кВт при напряжении 220В и терморегулятора, обеспечивающего пределы регулирования температуры воды от 4 до 18°C.

Вода из водопроводной сети через соединительный шланг поступает в чашу, где подогревается до заданной температуры. Постоянный уровень воды в чаше поддерживается клапанно-поплавковым

механизмом. При нажатии на откидную крышку открывается поильное место, и животное получает доступ к воде.

К групповым можно также отнести поилки, оборудованные корытами или несколькими индивидуальными поилками, которые заполняются водой из основного резервуара по закону сообщающихся сосудов. Уровень воды регулируется клапанным механизмом поплавкового типа. К ним относится групповая поилка ВУК-3, АГК-12, АГК-4 с электроподогревом для крупного рогатого скота АГС-24 для свиней, АП-2 желобковые и П-4А чашечные поилки для птицы.

Для бесперебойного круглосуточного поения овец в овчарнях в стойловый период содержания и во время ягнения предназначена групповая автопоилка ГАО-4 (рис. 1.26).

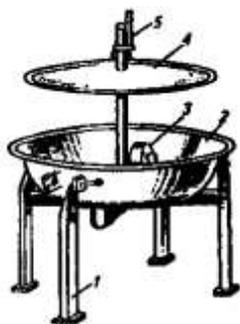


Рис. 1.26. Автопоилка ГАО-4:

1—стойка; 2—чаша; 3—поплавок; 4—крышка; 5—подводящая трубка

Ее можно использовать на открытых площадках в летнее время при наличии водопровода или водораздатчика. Пропускная способность автопоилки 236—324 овцы при среднем расходе воды на одну овцу 2,65 л. Она состоит из рамы, опирающейся на 4 ножки, поильной чаши диаметром 500 и глубиной 150 мм с регулируемой высотой зеркала воды относительно пола в пределах 280—390 мм, шланга с тройником, соединенного с водоисточником, водорегулирующего устройства поплавкового типа с клапаном, сливного устройства, крышки, направляющей и фиксатора. Скорость заполнения автопоилки вместимостью 25 л зависит от давления (0,01—0,03 МПа). К водопроводной сети автопоилку присоединяют с помощью патрубков.

В индивидуальных поилках чашечного типа (рис 1.27) количество воды поступающей, в поильную чашку, регулируется специальной педалью, которую нажимает само животное. К ним относятся поилки 11А-1, АП-1 для крупного рогатого скота, ПСС-1 (самоочищающийся) для свиней.

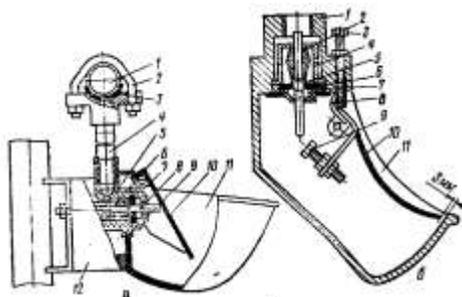


Рис. 1.27 Чашечные автоматические автопоилки:

а - ПА-1Б: 1 - труба водопровода; 2 - хомут; 3 - прокладка; 4 - труба подводящая; 5 - угольник; 6 - амортизатор; 7 - седло; 8 - клапан; 9 - крышка; 10 -рычаг; 11 - чаша; 12 - кронштейн; б - ПСС-1: 1 - патрубок для присоединения к водопроводу; 2 - амортизатор; 3,9 - болты регулировочные; 4 - стакан; 5 - клапан; 6 - седло клапана; 7 - крышка клапана; 8 - пружина; 10 -крышка чаши; 11 - чаша.

Одночашечные стационарные автоматические поилки предназначены для поения крупного рогатого скота при привязном содержании животных и рассчитаны на обслуживание двух животных. Поилку выпускают в нескольких модификациях: ПА-1 А и ПА-1Б с металлическими деталями и АП-1А с деталями из полимерных материалов. Поилка состоит из чаши вместимостью 2л и клапанного механизма пружинного типа, управляемого педалью. Поилку наполняют водой из магистрали при давлении 0,04—0,2 МПа.

Самоочищающаяся стационарная одинарная поилка ПСС-1 предназначена для поения свиней с одновременной очисткой чаши от остатков корма. Она состоит из чугунного корпуса с чашей, соединенного с водопроводной сетью; клапанного механизма; прижимной планки; оси; пружины и крышки.

Бесчашечная сосковая поилка ПБС-1 (рис. 1.28) предназначена для поения взрослых свиней на откормочных и репродукторных фермах. Ее устанавливают стационарно в свинарниках со станоч-

ным и бесстаночным размещением животных при групповом и индивидуальном содержании, а в летнее время – на выгульных площадках. Поилка входит в комплект оборудования станков для содержания и опороса свиноматок. Она состоит из корпуса, установленного под углом  $37^\circ$  к горизонтальной плоскости, соска, клапана, уплотняющих резиновых манжет, амортизатора и упора. При повороте головки клапана вода поступает через зазоры, образующиеся в уплотнениях. Производительность поилки 1,33 л/мин при усилии перемещения конца соска 15 Н и давлении воды в водопроводной сети 0,08–0,35 МПа.

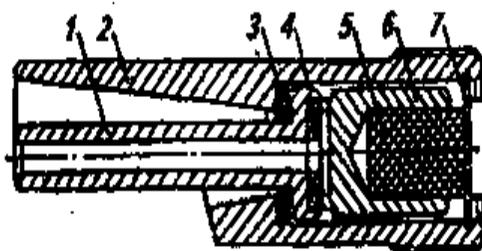


Рис. 1.28 Автопоилка ПБС-1:

1 –сосок; 2–корпус; 3, 4–прокладки; 5–амортизатор; 6–клапан; 7–упор

Бесчашечная автоматическая поилка ПБС-1 предназначена для поения поросят-сосунов в свинарниках-маточниках. Она представляет собой модификацию сосковой поилки ПБС-1 (рис. 1.28) и состоит из корпуса, соска, двух уплотнений, клапана, амортизатора и упора. Автопоилку устанавливают под углом  $30^\circ$  к горизонтальной плоскости соском вниз и присоединяют к водопроводной сети при давлении до 0,25 МПа. Производительность поилки до 50 л/ч. Для свиноголовья в последнее время стали широко применяться бесчашечные сосковые поилки типа ПБС-1 различных размеров или комбинированные. Поилка имеет вид цилиндра, внутри которого имеется сосок, нажимая на который животное смещает с отверстия в водопровод запорный клапан и пьет воду (рис. 1.29)

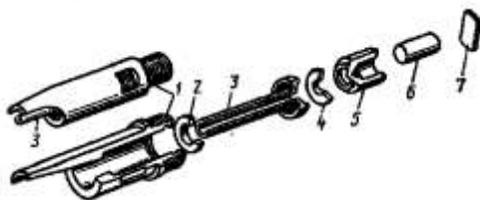


Рис 1.29. Сосковая автопоилка ПБС-1:

1 - корпус; 2,4 - резиновые прокладки; 3 - сосок; 5 - клапан; 6 - амортизатор; 7 - упор.

Автопоилки для птицы. Различают следующие конструкции поилок: для молодняка (цыплят) — вакуумные, для взрослых и на доращивании — чашечные, желобковые, бескрановые вакуумные, проточные или с постоянным уровнем воды, пружинно-клапанные (микрочашечные, ниппельные) и др. Фронт поения кур, гусей и индеек соответственно равен 2, 3 и 4 см.

Автопоилка вакуумная ПВ предназначена для цыплят 10-суточного возраста. Она состоит из баллона вместимостью 3—4,5 л и поддона диаметром 240 мм, изготовленных из пластмассы. Вакуумная поилка рассчитана на 50—100 цыплят.

Автопоилка П-4 предназначена для поения кур и индеек при напольном содержании на глубокой подстилке или на выгулах. Рассчитана она на 80—100 кур или 40—50 индеек.

Монтируют чашечную поилку на вертикальной водопроводной трубе. Состоит поилка из чаши диаметром 240 мм, клапана, стержня, закрепленного на оси, и кронштейнов. Вода, находящаяся в чаше, опускаясь, стержнем перекрывает клапану доступ воды в чашу. При отсутствии воды чаша и стержень под действием пружины приподнимаются, открывают клапан и доступ воды в чашу. Переставляют чаши по высоте двумя кронштейнами и хомутиком: для ремонтного молодняка кур на высоту 200—250 мм, а взрослых кур 300—320 мм. Конструкция чаши исключает возможность посадки кур на ее край и тем самым исключает разбрызгивание воды. Уровень воды в чаше 25—45 мм при давлении 0,02 МПа.

Ниппельные поилки (рис. 1.30) применяют на крупных комплексах при клеточном содержании кур. Вода к ним подается по

прямоугольным трубам длиной до 500 м, изготовленным из пластмасс (алкатен). Корпус поилки пластиковый. Поилка состоит из толкателя, корпуса, шарикового клапана, эластичной втулки и уплотняющей поверхности. Принцип работы заключается в том, что птица, у которой подрезан конец верхней части клюва, увидев каплю, нажимая на толкатель, обеспечивает подачу воды из трубопровода на нижнюю часть клюва. Как только толкатель будет отпущен, он перекрывает выходное отверстие, и подача воды прекращается.

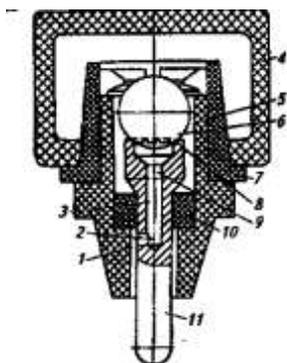


Рис. 1.36 Ниппельная (капельная) поилка:

1, 9 - выходные отверстия; 2, 3 — каналы; 4 — водопроводящая магистраль; 5—корпус; 6— шариковый клапан; 7— резиновый колпачок; 8— уплотняющая поверхность; 10 — эластичная втулка; 11 — толкатель

Микрочашечная поилка в отличие от капельной снабжена миниатюрной чашкой, в которую выведен язычок рычага. При ударе по нему клювом рычаг поворачивается вокруг оси и своим плечом нажимает на шток нижнего клапана, который поднимается. В результате в кольцевой зазор между головкой клапана и корпусом поилки поступает вода.

Для поения пушных зверей применяют автоматические или упрощенные поилки. При шедовом и наружноклеточном содержании зверям и кроликам также дают снег и лед (в зимнее время). Температура воды для поения зверей и кроликов должна быть не ниже 10 °С. Технические характеристики поилок приведены в табл.1.3.

Таблица 1.3. Техническая характеристика автопоилок

Марка	Вместимость, л	Обслуживаемое поголовье	Рабочее давление, МПа
Крупный рогатый скот			
АП-1А	1,9	1	До 0,2
ПА-1А	1,9	1	До 0,2
АГК-4А	60	100	До 0,33
ВУК-3А	5000	100	До 0,2
Свиньи			
ПСС-1А	0,5	До 30	До 0,2
Овцы			
ПБС-1	—	До 30	До 0,35
ПБС-1	—	До 30	До 0,25
ГАО-4А	100	До 300	0,1-0,3
ВУО-3А	3000	До 1000	Самотеком
Птица			
Капельная (нипельная)	—	До 30	0,03
Микрочашечная	0,01	До 30	0,03
Подвесная	3	100	0,03
Чашечная		50-100	0,01
Вакуумная	2-3	50-100	0,01

Автопоилка АУЗ-80 имеет чашу вместимостью 80 мл с рожком, вставленным в клетку через ячейку сетки. На штуцер, проходящий через отверстие чаши, накручен корпус подпружиненного качающегося клапана. Воду подводят по шлангу диаметром 10 мм. Зверь, лакая из рожка, задевает стержень клапана, отклоняет его, и вода поступает в чашу при давлении воды до 0,03 МПа.

Использование в системе водоснабжения специальных устройств–медикаторов (рис.1.37) дает возможность вводить в питьевую воду водорастворимые лекарственные препараты, витамины и другие вещества. Что позволяет с питьевой водой решать вопросы профилактики и лечения животных.

Работа устройства обеспечивается за счет чередования 2 фаз. В первой фазе приточная вода А приводит в действие поршень В, что вызывает выпуск смеси в патрубок С. Одновременно впрыскивающий поршень D засасывает препарат и впрыскивает его в гомогенизирующую камеру. Когда поршень достигает

верхнего положения, открываются впускные клапаны 2 и закрываются выпускные.

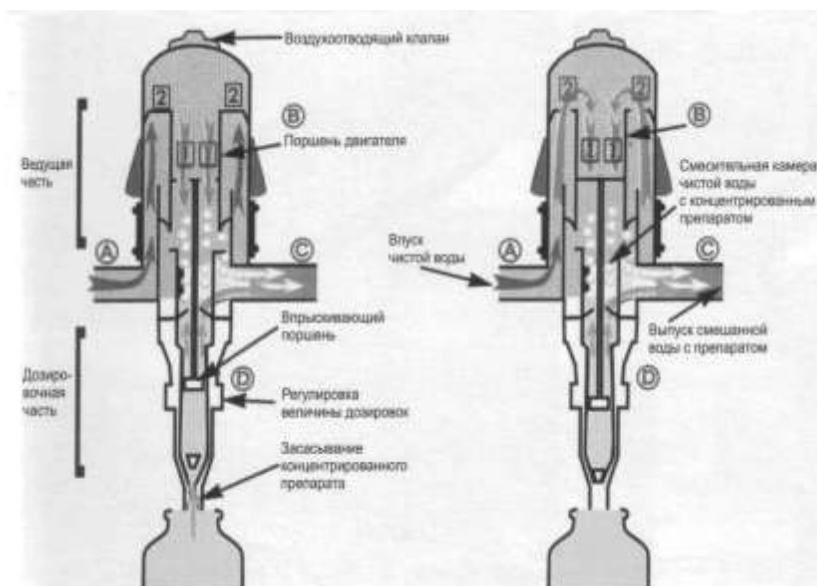


Рис. 1.37 Схема работы дозаторона

Во второй фазе поршень В передвигается вниз, благодаря чему часть препарата закачивается в гомогенизирующую камеру. Когда поршень находится внизу, открываются выпускные клапаны 1 и закрываются впускные клапаны 2. Цикл повторяется.

### Выводы по главе 1

Бесперебойное обеспечение качественной водой является одной из острейших проблем современного животноводства.

Проектирование систем водоснабжения животноводческих ферм и комплексов является сложной многогранной инженерной задачей, в ходе решения которой необходимо учитывать целый ряд факторов, влияющих на эффективность процессов, начиная с выбора источника водоснабжения и заканчивая решением вопросов эксплуатации и технического обслуживания используемого оборудования.

Выбор источника водоснабжения на настоящем этапе должен быть обоснован не только с экономической, инженерной и технологической точек зрения, но и учитывать важнейшие аспекты санитарии и гигиены воды. В связи с этим, наиболее приемлемым вариантом является использование грунтовых вод со свободной поверхностью и межпластовых безнапорных вод.

Анализ конструкции основных элементов системы водоснабжения показывает как ретроспективу, так и перспективные направления развития данной технологии.

При определении потребности фермы или комплекса в воде необходимо руководствоваться типовыми нормами расхода воды на поение животных, а также нормами потребления воды для реализации конкретных технологических нужд.

Справочные данные, полученные путем анализа практического опыта работы животноводческих ферм, позволяют определить потребность фермы в воде и другие технологические показатели системы водоснабжения.

Приведенные в главе методы инженерного расчета позволяют сделать выбор основных элементов технологической схемы водоснабжения для конкретных условий и определить основные эксплуатационные характеристики водонапорных баков и другого оборудования.

## Глава 2. ПОГРУЖНЫЕ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫЕ АГРЕГАТЫ

### 2.1. Устройство и технические характеристики погружных насосов

Погружной центробежный многоступенчатый насос представляет собой простую гидравлическую машину, предназначенную для подъема и транспортирования жидкости по трубопроводу от одного места к другому. Вода в центробежном многоступенчатом насосе проходит последовательно через все рабочие колеса, каждое из которых увеличивает напор на определенную величину [8]. Погружной насос выполнен многоступенчатым. Каждая ступень состоит из рабочего колеса, отвода лопаточного и обоймы. Рабочее колесо - это важнейшая деталь насоса. Оно предназначено для передачи энергии от вращающегося вала насоса жидкости. Отвод лопаточный предназначен для отвода жидкости от рабочего колеса и направления в напорную камеру головки.

Погружные насосы типа ЭЦВ составляют единую серию, в которой приняты следующие обозначения [38]: Э - электронасосный агрегат; Ц - центробежный; В - для подачи воды. Первая цифра после шифра означает внутренний диаметр обсадной колонны скважины в мм, уменьшенный в 25 раз и округлённый, следующая цифра указывает подачу воды в номинальном режиме, измеряемую в м<sup>3</sup>/ч и последняя - напор в метрах водяного столба в номинальном режиме. Для насосов, работающих на воде с повышенной температурой, в условном обозначении после чисел должны добавляться буквы Тр. Серия насосов ЭЦВ составляют основу ГОСТа 10428 на электронасосные агрегаты [42, 43]. Промышленные предприятия Республики Беларусь производят насосы очень широкой гаммы [9, 10, 14]. Ведущим производителем является «Завод Промбурвод», который обеспечивает погружными насосами: по диаметру обсадной колонны от 100 до 300 мм; по производительности от 1,0 до 375 м<sup>3</sup>/ч, по напору - от 20 до 400 метров [46]. Сводное поле характеристик погруж-

ных насосов, производимых на ОАО «Завод Промбурвод», приведено на рис. 2.1.

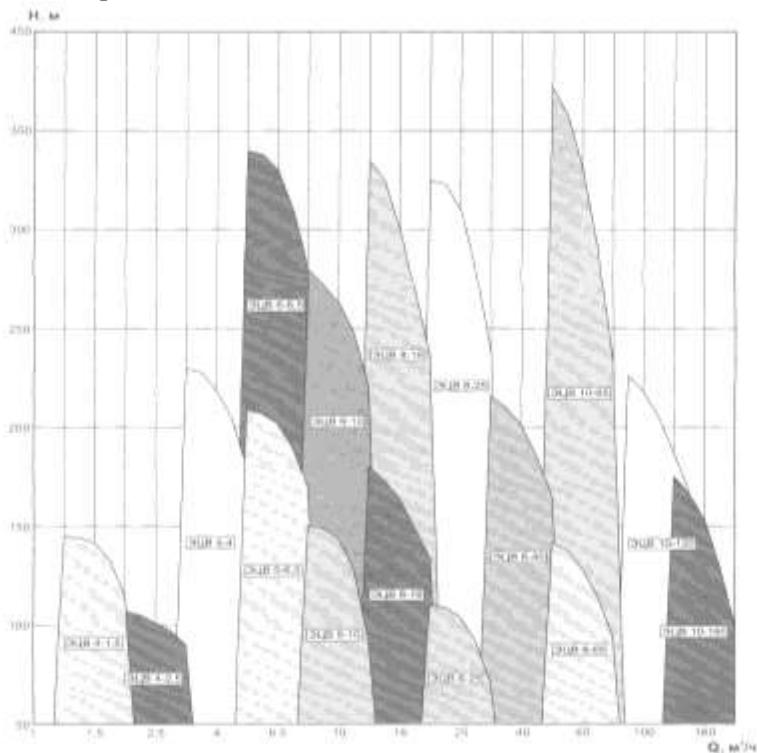


Рис. 2.1. Сводное поле характеристик погружных электронасосных агрегатов

Насос ЭЦВ4, представленный на рис. 2.2 может изготавливаться с чугунным 3 или пластмассовым 28 корпусом подшипника [85]. В насосах используют стальные подвод 11 и головку 1. Насос состоит из рабочих колес 7 с удлиненной ступицей, посаженных на шестигранный нержавеющий вал 12. Рабочие колёса изготавливают из угленаполненного УПА6-30 или стеклонаполненного ПА6-ЛТ-СВ30В полиамидов или полистирола.

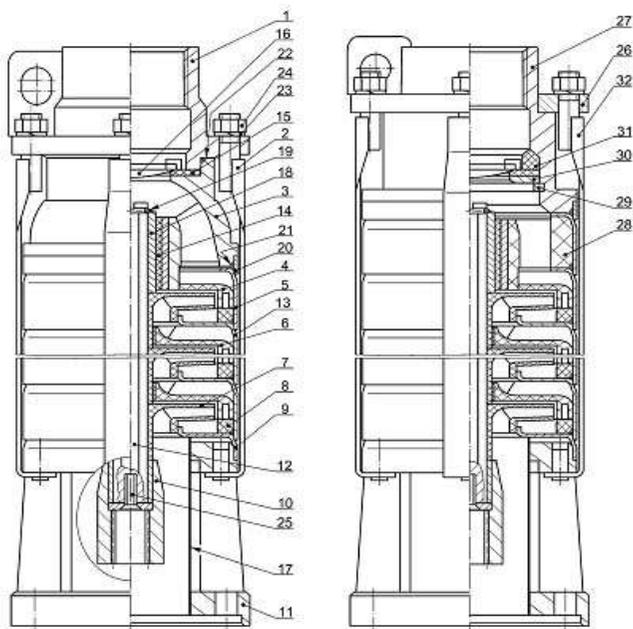


Рис.2.2. Насос ЭЦВ 4.\*

1 – головка; 2 – стяжка; 3 – корпус подшипника; 4, 6, 67 – отвод лопаточный; 5 – обойма верхняя; 7 – колесо рабочее; 8 – кольцо; 9 – обойма нижняя; 10 – муфта; 11 – подвод; 12 – вал; 13 – обойма средняя; 14 – подшипник; 15 – седло клапана; 16 – клапан; 17 – сетка; 18 – втулка защитная; 19 – кольцо пружинное; 20, 62, 66 – обойма; 21, 22, 45, 48, 64 – кольцо уплотнительное; 23 – шайба пружинная; 24 – гайка; 25 – винт; 26 – фланец; 27 – головка; 28 – корпус; 29 – кольцо стопорное; 30 – шайба; 31 – корпус клапана; 32 – стяжка; 33 – болт; 34, 37, 46 – шпонка; 35 – втулка отвода; 36 – втулка; 38 – гильза; 39 – шайбы регулировочные; 40 – диск верхний; 41 – диск средний; 42 – фланец нижний; 43 – кольцо упорное; 44 – диск нижний; 47 – фланец верхний; 49 – корпус; 50 – пробка; 51 – манжета; 52 – втулка; 53 – пескосбрасыватель; 54 – втулка распорная; 55 – фланец; 56 – штифт; 57 – диск; 58 – шайба стопорная; 59 – клапан шаровой; 60 – крышка; 61 – ограничитель; 63 – переходник; 65 – фланец; 68 – кольцо.

\* спецификация идентична для всех насосов ЭЦВ.

Отводы лопаточные 6 изготавливают из прополида-3СВ, армлена ППСВ30-1 или полипропилена. Они запрессованы в нержавеющую обойму 5. Ступени насоса стянуты четырьмя нержавеющими стяжками 2 и гайками 24. Рабочие колеса 7, лопаточные отводы 6 и корпус подшипника 28 изготавливаются методом литья на термопластавтоматах [104]. В насосе применяются резинометаллические подшипники 14, которые оказались наиболее эффективными при работе в воде [44]. В результате длительных эксплуатационных наблюдений установлено, что наиболее износостойким материалом для смазываемых водой подшипников скольжения является резина.

Насос погружной многоступенчатый центробежный ЭЦВ6-10-80 выгодно отличается от известных аналогов [58], так как при сохранении общего напора 80 м и производительности 10 м<sup>3</sup>/час, насос выполнен меньшим по общей высоте на 480 мм и массе на 3,2 кг. За счет обеспечения возможности в уменьшении высоты направляющего аппарата на 9,5 мм, рабочего колеса на 6 мм, обоймы на 6,5 мм, а также значительного увеличения наружного диаметра на 12 мм каждого рабочего колеса и внутреннего диаметра на 12 мм каждого направляющего аппарата и компактности их размещения. Насос выполнен из шести рабочих ступней вместо восьми [56].

Благодаря выше перечисленным усовершенствованиям, удалось значительно снизить энергозатраты на 0,5 кВт и повысить КПД насоса на 5,7%. Предлагаемый погружной многоступенчатый центробежный насос компактный, менее металлоемкий, прост в изготовлении, удобный в обслуживании, малозатратный в материальном и энергопотребительском отношении, имеет повышенный КПД и срок службы [89].

На рис. 2.3 представлены насосы ЭЦВ8-25-100 и ЭЦВ8-25-110. Насос состоит из отдельных ступеней, каждая из которой имеет свою обойму 13. Обойма изготавливается из листовой стали 08 кп толщиной 3 мм методом штамповки. Обойма первого насоса изготавливалась из трубы 20 и литого чугунного диска 57. Радиальные отводы лопаточные 6 запрессованы в обоймы. В отводы вставлены резиновые втулки 35. Гидравлически неразгруженные рабочие колёса 7 с цилиндрическими лопастями закреплены на валу 12 при помощи общей латунной шпонки 34 и

зафиксированы от осевого смещения и заданного расстояния распорными втулками 54 и пружинным кольцом 19 или гайкой 24.

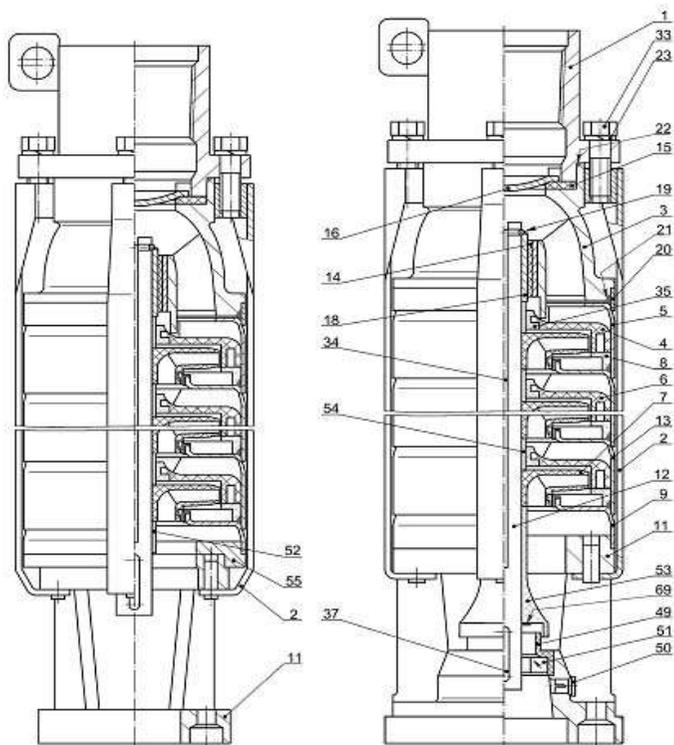


Рис. 2.3. Насос: ЭЦВ8

Рабочие органы насосов ЭЦВ8 и ЭЦВ10 изготавливают из пластика норил, нержавеющей стали и чугуна. По отдельному заказу рабочие ступени могут быть изготовлены из бронзы. Пластик норил получают на основе полифениленовых простых эфиров. Это самый универсальный материал, основные свойства которого могут быть модифицированы для достижения разнообразных характеристик. К ним относятся исключительная стабильность размеров, низкая усадка при формовании, низкая ползучесть даже при повышенных температурах и самое низкое водопоглощение. Норил -3 и GFN1630V армирован стекловолокном до 30%. Этот материал ши-

роко применяется в фильтрах для воды [99], насосах, различных водоизмерительных устройствах и имеет высокие жесткость и теплостойкость. Ступени насоса, расположенные между головкой 1 и подводом 11, стянуты болтом 33 и стальными стяжками 2. Верхняя часть головки имеет внутреннюю коническую резьбу для присоединения насоса к колонне водоподъемных труб. В первом насосе подвод 11 изготовлен из серого чугуна и одновременно является нижним корпусом подшипника. В подводе насоса устанавливается манжета 51 и корпус 49 или 60, предназначенные для защиты от проникновения механических примесей вдоль вала электродвигателя. Корпус подшипника 3 верхнего резинометаллического подшипника 14 тоже изготавливается из серого чугуна. Обратный клапан 16 тарельчатого типа находится в нижней части головки. Такой конструкции клапан комплектуется во всех модернизированных насосах. В первоначальной конструкции обратный клапан 59 был шарового типа. В насосе применяются резинометаллические подшипники скольжения 14, изготавливаемые из сырой резины марки 7-3825. Смазка и охлаждения подшипников осуществляется перекачиваемой водой. Вал насоса 12 для предохранения от износа в подшипниках защищен втулкой защитной 18 и распорными втулками 54 из нержавеющей стали 20X13.

Насос ЭЦВ10, представленный на рис. 2.4, состоит из рабочих колес 7, неподвижно посаженных на валу 12 через шпонку 34, отводов лопаточных 6, запрессованных в обоймы 20. Рабочие ступени разделены между собой дисками 57. Рабочие органы радиальных ступеней изготавливаются из пластика Норил -3 или GFN1630V, широко используемых в мировом насосостроении, нержавеющей стали и чугуна. Рабочие ступени насоса, расположенные между подводом 11, корпусом подшипника 3 и головкой 1, стянуты между собой шестью стяжками 2 и гайками 24. Втулка защитная 18, втулка 52 и втулки распорные 54 изготавливаются из нержавеющей стали 20X13 или конструкционной стали с композиционным хромовым покрытием и ультрадисперсными алмазами.

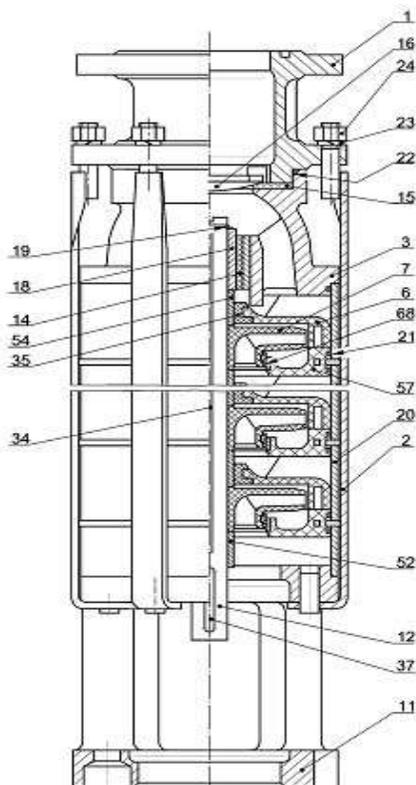


Рис. 2.4. Насос ЭЦВ 10

Полуосевой насос ЭЦВ 10-120-60 (рис. 2.5) отличается тем, что каждая ступень насоса состоит из чугунных или нержавеющей отводов лопаточных 6, соединенных между собой через шпильки 25 и затянутых гайками 23. Для уплотнения между отводами устанавливаются кольца 21. В каждом отводе запрессован резинометаллический подшипник 13, в котором вращается защитная втулка 18, запрессованная на валу. Чугунные или нержавеющей рабочие колеса 7 зафиксированы на валу 12 через шпонку 34. От осевого смещения колес предотвращают защитные втулки 54. Все втулки в насосе изготовлены из нержавеющей стали 20Х13. В подводе насоса установлена манжета 51. На валу насоса перед манжетой установлен пескосбрасыватель 53.

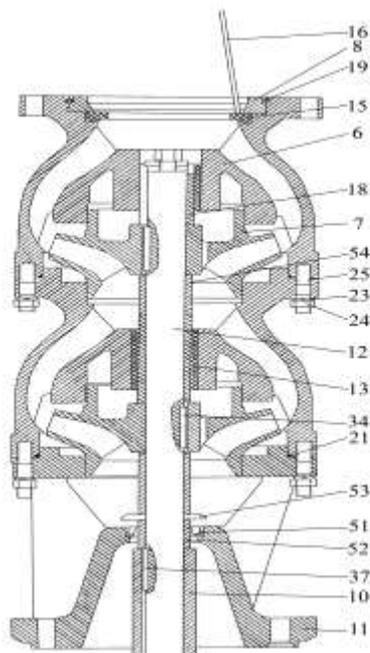


Рис. 2.5. Полуосевой насос ЭЦВ 10-120-60

В нижней части вала насоса через шпонку 37 зафиксирована муфта 10 для соединения с электродвигателем. В верхней части насоса имеется обратный клапан 16 тарельчатого типа и седло клапана 15. Все погружные скважинные насосы, производства ОАО «Завод Промбурвод», снабжены поворотным обратным клапаном тарельчатого типа, предотвращающим обратный поток воды при остановке насоса. Короткое время срабатывания обратного клапана сводит к минимуму последствия опасных гидравлических ударов.

Сила осевого давления и сила веса ротора насоса и электродвигателя воспринимаются опорным подпятником и пятой электродвигателя [74].

Насосы ЭЦВ8 и ЭЦВ10 могут присоединяться к погружным электродвигателям 6" и 8" соответственно через специальные переходные фланцы.

Насосы с напором выше 200 метров оснащены промежуточным корпусом подшипника. Насосы с напором выше 250 метров оснащены дополнительно средним корпусом, а насосы с напором свыше 300 метров и средним, и промежуточными корпусами.

Для перекачивания горячей воды используют специальные насосы. Рабочие органы изготавливают из нержавеющей стали, чугуна и специальных пластических масс, а резинометаллические подшипники и уплотнения из специальной резиновой смеси 51-1742 на основе фторкаучуков.

В табл. 2.1 приведены характеристики радиальных ступеней, выпускаемых на ОАО «Завод Промбурвод».

В табл. 2.2 представлены технические показатели полуосевых ступеней, выпускаемых Тульским опытным заводом насосного и бурового оборудования компании «Крон» и агрегируемых с погружными электродвигателями производства ОАО «Завод Промбурвод» [46, 50].

Таблица 2.1. Характеристика радиальных ступеней

Наименование насоса	Габарит насоса, мм	Технические показатели ступени		
		подача, м <sup>3</sup> /ч	напор, м	КПД, %
ЭЦВ4-1,5	96	1,5	5,0	50
ЭЦВ4-2,5		2,5		56
ЭЦВ5-4	120	4	6,0	58
ЭЦВ5-6,5		6,5		
ЭЦВ5-10		10		
ЭЦВ6-6,5	144	6,5	13,0	65
ЭЦВ6-10		10		
ЭЦВ6-16		16		68
ЭЦВ6-25		25		
ЭЦВ8-16	180	16	17,5	72
ЭЦВ8-25		25		
ЭЦВ8-40		40		
ЭЦВ8-65		65		
ЭЦВ10-65	235	65	33,0	75
ЭЦВ10-120		120	28,0	
ЭЦВ10-160		160		

Таблица 2.2. Характеристика полуосевых ступеней

Наименование насоса	Габарит насоса, мм	Технические показатели ступени		
		подача, м <sup>3</sup> /ч	напор, м	КПД, %
ЭЦВ10-63	219	63	22	72
ЭЦВ10-120		120	30	74
ЭЦВ10-160		160		70
ЭЦВ12-160	273	160	35	74
ЭЦВ12-210		210	30	75
ЭЦВ12-250		250		70
ЭЦВ12-375		375		75

## 2.2. Устройство и технические характеристики погружных электродвигателей

В качестве привода погружных насосов применяются погружные асинхронные электродвигатели типа ПЭДВ, ДАПВ и ПЭДГ с короткозамкнутым ротором, водозаполненный [106]. Эти двигатели составляют единую серию, в которой приняты следующие обозначения: П - погружной, ЭД - электродвигатель, В – водозаполненный, Д - электродвигатель, А - асинхронный, Г – герметичный. Первые цифры указывают мощность в кВт, а вторые - диаметр электродвигателя в мм. По перекачиваемой воде электродвигатели подразделяются на двигатели для холодной и горячей воды с температурой до 75 °С. Последние имеют в обозначении буквы Тр.

Электродвигатель ДАПВ...-96 показан на рис. 2.6. Данный электродвигатель отличается сварным статором и присоединительными размерами по стандарту NEMA 1-18-388. На специальной оправке пакет статора 2 сжимается нажимными кольцами 3. Пакет двумя продольными швами приваривается к двум обечайкам 1. Обечайки электрозаклепками крепятся к нажимным кольцам. Сваренный статор снимают с оправки и приваривают кольца.

Подшипниковые щиты 1 и 3, изготовленные из пластика методом литья, с резинометаллическими подшипниками 5 запрессованы в корпус статора и закреплены шпильками 34 и 36. Вал ротора имеет шлицы для соединения через муфту к насосу.

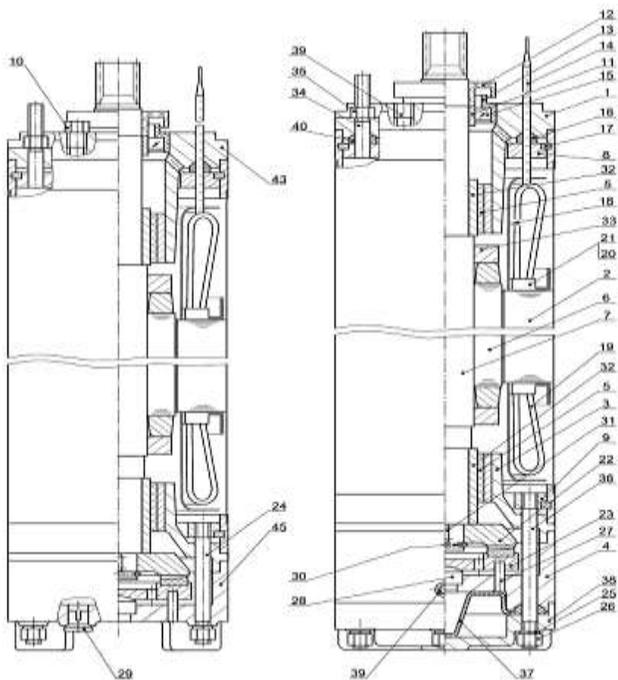


Рис. 2.6. Погружные электродвигатели ДАПВ...-96, ПЭДГ...96\*:  
 1 – щит верхний; 2 – статор; 3 – щит нижний; 4 – днище; 5 – подшипник; 6 – бочка ротора; 7 – вал ротора; 8 – кольцо верхнее; 9 – кольцо нижнее; 10 – пробка-фильтр; 11 – втулка; 12 – пескосбрасыватель; 13 – корпус; 14 – вывод; 15 – манжета; 16 – уплотнитель вывода; 17 – кольцо упорное; 18 – гильза; 19 – провод обмоточный; 20 – гильза; 21 – клин пазовый; 22 – пята; 23 – подпятник; 24 – шпилька; 25 – шайба пружинная; 26 – гайка; 27 – штифт; 28 – опора сферическая; 29 – пробка-фильтр; 30 – кольцо пружинное; 31 – шпонка; 32 – втулка; 33 – кольцо балансировочное; 34, 36 – шпилька; 35 – гайка; 37 – диафрагма; 38 – крышка; 39 – пробка; 40 – уплотнитель шпилек; 41 – шпонка; 42 – кольцо уплотнительное; 43 – щит верхний; 44 – статор; 45 – днище; 46 – болт; 47 – бочка статора; 48 – шайба нажимная; 49 – корпус статора; 50, 57 – пробка; 51 – уплотнитель шпилек; 52 – шайба; 53 – кольцо уплотнительное; 54 – муфта; 55 – опора; 56 – диск опорный; 58 – шайба; 59 – кольцо.

\* спецификация идентична для всех погружных электродвигателей ДАПВ, ПЭДВ и ПЭДГ

На рис. 2.7 показан погружной электродвигатель ПЭДВ...-180, предназначенный для привода погружных насосов типа ЭЦВ8. Внутренняя полость электродвигателя заполнена водой, которая служит смазкой подшипников скольжения и улучшает охлаждение электродвигателя.

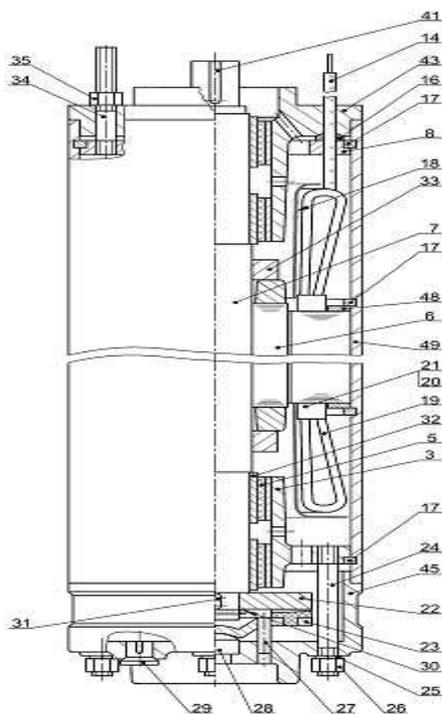


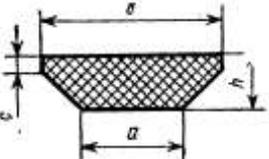
Рис. 2.7. Погружной электродвигатель ПЭДВ...-180.

Ротор электродвигателя состоит из вала 7 с напрессованным на него активным пакетом железа 6, собранным из пластин листовой электротехнической стали и балансировочными кольцами 33. Балансировка ротора осуществляется в сборе сверлением отверстий в балансировочных кольцах. В пазы пакета ротора залита под давлением алюминиевая короткозамкнутая обмотка. Для предохранения вала ротора от износа на него напрессованы защитные втулки 32 из нержавеющей стали. На нижний конец ва-

ла ротора насажена пята 22, а на верхний – жесткая соединительная муфта.

Статор 49 электродвигателя представляет собой стальную трубу, в которой запрессован активный пакет железа статора 47, собранный из листовой электротехнической стали. Листы статора и ротора штампуются из ленты 0,5×175-П-Ш-С-1-ГО-ТМ-А-2212 ГОСТ21427.2-83. Крепление пакета статора в трубе произведено нажимными шайбами 48 и упорными кольцами 17. В пазы активного пакета уложена статорная обмотка 19, выполненная из медного провода с водостойкой изоляцией. Статорная обмотка фиксируется в пазу клином, размеры которых представлены в табл.2.3.

Таблица 2.3. Размеры пазового клина

Сечение клина	Тип электродвигателя	Размеры клина, мм				
		L	a	b	h	шт.
	ДАПВ...-96	108	1,8	4,9	1,8	48
	ДАПВ...-120	152	3,3	6,3	4,0	48
	ПЭДВ...-144	112	3,5	7,5	3,8	48
	ПЭДВ...-180	123	5,0	8,0	4,7	48

На рис. 2.8 представлена схема намотки погружного электродвигателя мощностью 11 кВт. Обмотка статора соединена в «звезду». Для всех типов проводов жилы изготавливаются из круглой медной проволоки ММ – ГОСТ 2212-71 или медной катанки. Обмоточные провода типа ПЭВВП изготавливаются из медной жилы с двухслойной изоляцией из эмали ВЛ-931 и поливинилхлорида И50-13. Провода ПЭП-В-80 изготавливаются из медной жилы с двухслойной изоляцией из эмали ВЛ-931 и полиэтилена высокой плотности марки 271-70К(82,83), а типа ПЭПТ-В-100 – покрытие лака ПЭ-939 и блок-сополимера марки 22015. Обмоточные провода типа ПВДП, Б-ПП-В-80 и ПП-В-80 изготавливаются из медной жилы и двухслойной изоляции полиэтилена низкой плотности марки 153-01К(02) и высокой плотности марки 271-70К, а провода типа ПП-В-100 Б-ПП-В-90 из полиэтилена низкой плотности марки 153-01К(02) и блок-сополимера марки 22015. Рабочая температура

тура обмоточного провода указана в маркировке. Токосводящий кабель присоединяется методом скручивания и сварки неплавящимся электродом к трем выводным концам статорной обмотки. Места соединений и подключения выводных концов провода изолируются полихлорвиниловой липкой лентой.

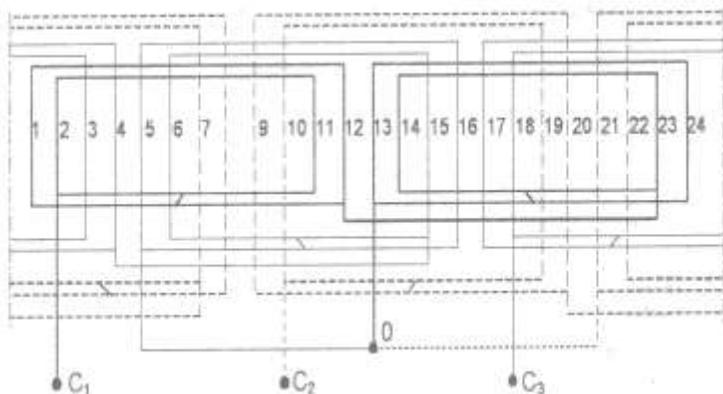


Рис. 2.8. Схема намотки электродвигателя ПЭДВ11-180

Обмотка статора, выходящая за пределы пакета статора, защищена пластмассовыми гильзами 18, предохраняющими её от повреждения при сборке и разборке электродвигателя. Верхний щит подшипника 43 и нижний 3, а также днище 45, изготовлены методом литья из серого чугуна СЧ 20. В верхний и нижний щиты запрессованы резинометаллические радиальные подшипники 5. В днище установлена пробка-фильтр 29, запрессованы штифты 27 и сфера 28, на которую опирается резинометаллический подпятник 23. Подпятник воспринимает осевую силу, возникающую при работе водоподъемной установки. Щит нижний и днище соединены между собой шпильками 24 с гайками 25. Щит верхний и кольцо верхнее 8 соединены между собой шпильками 34 с гайками 35. Через эти шпильки присоединяется погружной насос. Щиты, днище и кольцо вставлены в корпус статора и зафиксированы в нём кольцами упорными 17. Токосводящий кабель проходит через отверстия верхнего щита и уплотнен резиновыми уплотнителями 16.

Пята 22 из нержавеющей стали марки 95Х18, закрепленная на валу ротора стопорным кольцом 30 и шпонкой 31, и подпятник 23 образуют упорный подшипник. Пята с подпятником воспринимает всю вертикальную нагрузку: механическую (вес вращающихся частей агрегата) и часть неуравновешенной гидравлической нагрузки, создаваемой рабочими колесами при работе агрегата.

Подпятник является наиболее ответственной частью агрегата и часто выходит из строя из-за неправильного соединения насоса с электродвигателем, нарушения нормальной смазки и охлаждения водой, попадания в полость электродвигателя механических примесей вместе с водой. Подпятники изготавливают резинометаллическими. Для смазки и охлаждения водой в резиновом подпятнике имеются радиальные канавки. Он покоится на сфере 28 и фиксируется от проворачивания штифтами 27.

В качестве токоподводящего кабеля применяется кабель марки ВПВ или ВПП. Погружные электродвигатели комплектуются токоподводящим кабелем в соответствии с табл. 2.4.

Таблица 2.4. Площадь сечения и длина кабеля для различных типов двигателей

Тип электродвигателя	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Длина, мм	Тип электродвигателя	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Длина, мм
ДАПВ(0,75;1,1)-96	1,5	1500	ПЭДВ(13;15;17;20;22)-180	6,0	2500
ДАПВ(3;4;5,5)-120	1,5	1500			
ПЭДВ(3;4)-144	2,5	1700	ПЭДВ(30;33)-180	10,0	2500
ПЭДВ(5,5;6,3;7,5;9;11)-140	2,5	2300	ПЭДВ37-235	10,0	3000
ПЭДВ11-180	6,0	1700	ПЭДВ45-235	16,0	3000
			ПЭДВ55-235	25,0	3000
			ПЭДВ63-235	25,0	3000

Обмоточные данные погружных электродвигателей представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Обмоточные данные погружных электродвигателей

Марка электро-двигателя	Диаметр провода, мм	Число витков в пазу, шт.	Длина корпуса статора, мм	Размер пазовой изоляции, мм	Высота лобовых частей, мм	Норма расхода провода, м/кг
ДАПВ0,75-96	0,56	52	361	40*225	60/50	710/1,27
ДАПВ1,1-96	0,6	48	361	40*225	60/50	410/1,31
ДАПВ3-120	1,06	25	525	58*330	70/75	279/3,05
ДАПВ4-120	1,12	23	525	58*330	70/75	320/3,36
ДАПВ5,5-120	1,18	18	710	58*330	80/86	380/3,85
ПЭДВ2,2-144	0,9	38	445	50*205	90	388/3,07
ПЭДВ3-144	1,06	33	475	50*235	90	353/3,46
ПЭДВ4-144	1,12	30	485	50*245	90	338/3,52
ПЭДВ5,5-144	1,32	24	520	50*280	90	293/4,14
ПЭДВ6,3-144	1,4	20	575	50*335	90	268/4,40
ПЭДВ7,5-144	1,5	18	625	50*385	90	263/4,86
ПЭДВ9-144	1,7	16	675	50*430	90	256/6,16
ПЭДВ11-144	1,8	15	675	50*440	90	238/6,41
ПЭДВ11-180	1,8	18	601	80*255	135/120	218/5,93
ПЭДВ13-180	2,0	17	601	80*255	135/120	206/6,80
ПЭДВ15-180	2,0	15	656	80*310	135/120	202/7,05
ПЭДВ17-180	2,12	14	656	80*310	135/120	188/7,00
ПЭДВ18,5-180	2,24	13	681	80*335	135/120	183/7,16
ПЭДВ20-180	2,36	12	716	80*335	135/120	169/7,76
ПЭДВ22-180	2,44	11	751	80*350	135/120	161/8,12
ПЭДВ25-180	2,5	11	751	80*350	135/120	155/8,51
ПЭДВ30-180	2,8	9	791	80*350	135/120	150/9,07
ПЭДВ33-180	2,8	8	866	80*350	135/120	145/9,81
ПЭДВ37-235	3,18	9	635	75*320	135/120	132/8,7
ПЭДВ45-235	3,75	7	741	75*380	135/120	127/10,4
ПЭДВ55-235	3,96	6	785	75*440	135/120	122/12,3
ПЭДВ63-235	4,5	5	870	75*525	135/120	118/13,4

На рис. 2.9 показан герметичный электродвигатель ПЭДГ...235.

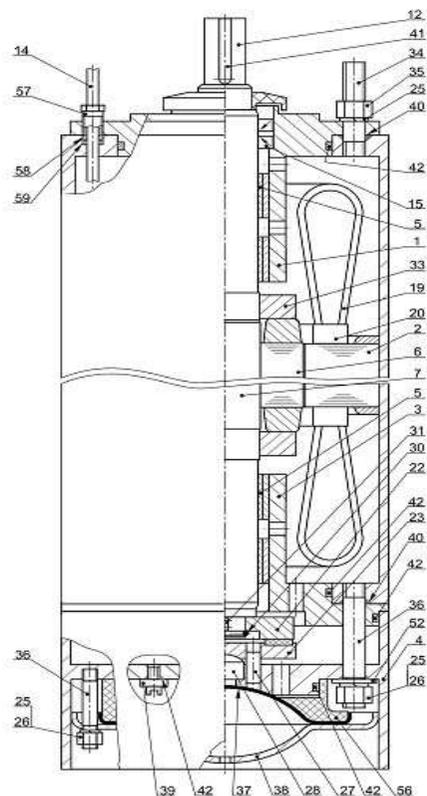


Рис. 2.9. Герметичный погружной электродвигатель ПЭДГ...-235 с узлом дыхания

Герметизация электродвигателя осуществляется специальными резиновыми кольцами уплотнения шпилек 40 и уплотнения верхнего и нижнего щитов 42, имеет заливную и сливную пробку 39, крышку 38, диафрагму 37. Диафрагма уравнивает перепады давления между внутренней полостью электродвигателя и окружающей средой. При монтаже перед спуском электронасосного агрегата в скважину герметичный электродвигатель заполняется через верхнюю пробку смесью чистой воды с глицерином. Смесью заполняет внутреннюю полость электродвигателя. В начальный период после пуска электродвигателя происходит разогрев воды. Смесью, расширяясь, сдавливает диа-

фрагму, а, охлаждаясь, диафрагма занимает исходное положение. При использовании погружного электродвигателя в горячей воде применяют специальную резиновую смесь, пластик норил, специальный токоподводящий кабель, работающие при температуре до  $100^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3. Технические характеристики и устройство погружных электродвигателей фирмы Franklin Electric

Фирма Franklin Electric выпускает широкую гамму погружных электродвигателей [2]. На рис. 2.10 представлена конструкция изолированного погружного электродвигателя.

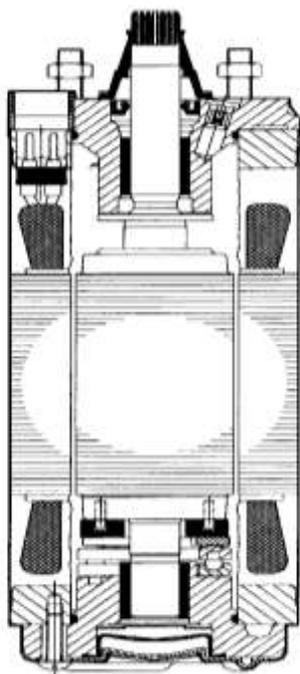


Рис. 2.10. Изолированный погружной электродвигатель:  
1 – разъем для провода; 2 – радиальные подшипники; 3 – внутренняя нержавеющая гильза; 4 – обмотка статора; 5 – наружная гильза; 6 – статор; 7 – ротор; 8 – пята; 9 – подпятник; 10 – узел дыхания

По конструкции погружные электродвигатели фирмы Franklin Electric подразделяются на изолированные и перематываемые [1]. По перекачиваемой среде погружные электродвигатели фирмы Franklin Electric подразделяются для перекачивания воды с температурой 25, 30, 40, 50, 75 и 90 °С. Все присоединительные размеры выполнены по стандарту NEMA. Электродвигатели могут монтироваться в вертикальном и горизонтальном положении.

Фирма Franklin Electric выпускает герметичные погружные электродвигатели 4" от 0,37 до 7,7 кВт, 6" от 4 до 45 кВт, 8" от 30 до 150 кВт, 10" от 85 до 185 кВт. Статор 6 электродвигателя герметизирован наружной 5 и внутренней 3 нержавеющей гильзой. Обмотка 4 статора электродвигателя выполнена эмалевым проводом. Для охлаждения обмотки и отвода тепла статор заполнен специальным компаундом. Полость между статором и ротором заполнена смазывающей незамерзающей жидкостью имеющей допуск в контакт с питьевой водой. Ротор 7 электродвигателя вращается в радиальных 2 и упорных 9 подшипниках скольжения, работающих в жидкости.

Фирма Franklin Electric изготавливает перематываемые, представленные на рис. 2.11, погружные электродвигатели 6" от 4 до 37 кВт и 8" от 30 до 93 кВт. Перематываемые погружные электродвигатели отличаются тем, что обмотка выполнена из специального водостойкого провода. Данная конструкция позволяет, в случае пробоя изоляции обмоточного провода, выполнить ее перематку.

Погружной электродвигатель фирмы Franklin Electric имеет следующие преимущества:

- высокоэффективная электрическая схема намотки;
- все электродвигатели предварительно заполнены специальной жидкостью и прошли 100% тестирование. Температура хранения -15 °С...+60 °С;
- уплотнение вала для защиты от механических примесей;
- официально зарегистрированный тип упорного подшипника Franklin Electric «Kingsbury»;
- конструкция допускает последующую установку датчика контроля температуры электродвигателя;
- увеличенное количество пусков.

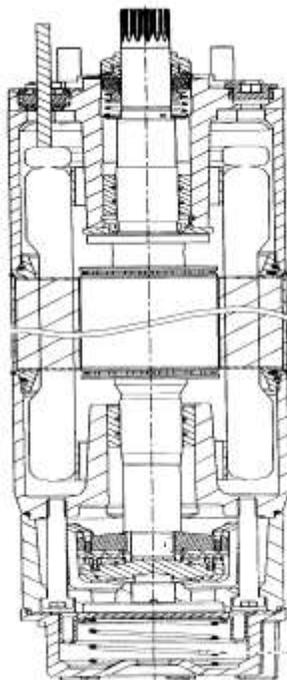


Рис. 2.11. Перематываемый погружной электродвигатель

Фирма Franklin Electric применяет запатентованный упорный подшипник «Kingsbury». Подшипник работает в широком диапазоне рабочих температур и давлений, обладает высокими антифрикционными свойствами, хорошей механической прочностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Данный материал может работать в различных средах. На ОАО «Завод Промбурвод» были проведены сравнительные испытания упорного серийного подшипника из резиновой смеси марки 7-3825 и «Kingsbury». Испытания проведены на электронасосном агрегате ЭЦВ10-65-150 с погружным герметичным электродвигателем ПЭДГ45-235. Использование подшипника «Kingsbury» дало увеличение коэффициента полезного действия на 3,1 % и снижение потребляемой мощности на 1,6 кВт. Результаты испытаний представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6. Сравнительные испытания упорных подшипников

Параметры	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	Ток, А	Измеренная мощность, Вт	КПД, %	Удельное потребление электроэнергии, Вт·ч/м <sup>3</sup> -м
Подпятник из резины	65	154,1	91,4	48,4	56,4	4,83
Подпятник «Kingsbury»	65	156,3	86,2	46,8	59,5	4,58

С использованием электродвигателей фирмы Franklin Electric и погружных насосов производства ОАО «Завод Промбурвод» получили следующие преимущества:

- увеличение КПД агрегата от 1,5 до 9%;
- снижение удельного расхода энергии с 5,2 до 4,5 Вт·ч/м<sup>3</sup>;
- снижение стоимости по сравнению с европейскими аналогами;
- срок окупаемости от 1 до 1,5 лет;
- возможность технического сервиса, как насосов, так и электродвигателей.
- увеличение надежности и наработки до 25 тыс. ч.;

#### 2.4 Агрегатирование насоса с электродвигателем

От правильности соединения насоса с электродвигателем зависит работа электронасосного агрегата. Это связано с тем, что насос не имеет упорного подшипника и при правильном соединении осевую нагрузку насоса воспринимает упорный подшипник электродвигателя. После соединения насоса с электродвигателем показанных на рис. 2.12 и 2.13, рабочие колеса должны находиться в среднем положении относительно отвода лопаточного во избежание их трения.

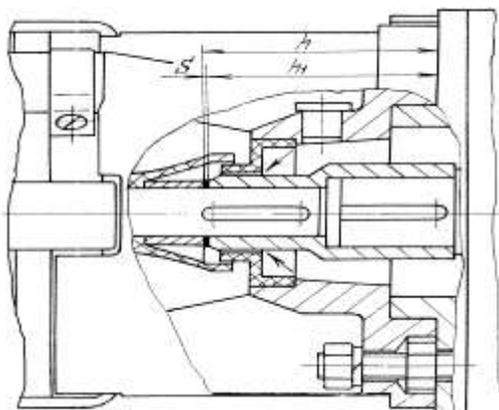


Рис. 2.12. Соединение насоса и электродвигателя 8" 10"

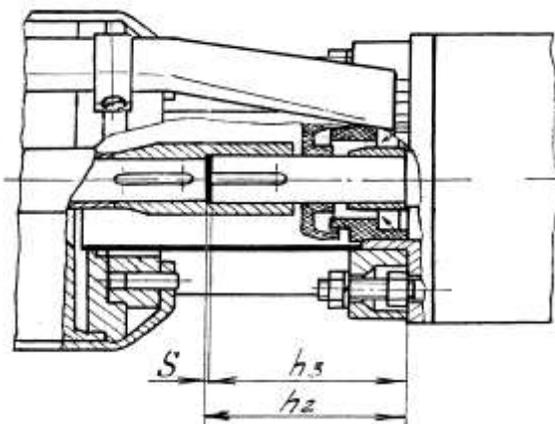


Рис. 2.13. Соединение насоса и электродвигателя 4", 5" и 6"

Регулировку расположения рабочих колес насоса относительно отвода лопаточного проводят подбором толщины пакета регулировочных шайб, которую определяют по формуле

$$S = h - h_1 - 1, \quad (2.8)$$

$$S = h_2 - h_3 - 1,$$

где:  $S$ - толщина пакета регулировочных шайб, мм;

$h$  - наибольшее расстояние между торцами подвода и втулки, когда вал насоса находится в крайнем верхнем положении, мм;

$h_1$ – наименьшее расстояние между торцами щита подшипникового и муфты при отсутствии зазора между пятой и подпятником, мм;

$h_2$ - наибольшее расстояние между торцами подвода и вала насоса, когда вал насоса находится в крайнем верхнем положении, мм;

$h_3$ - наименьшее расстояние между торцами щита подшипникового и вала электродвигателя при отсутствии зазора между пятой и подпятником, мм.

На валы электродвигателей 4", 5", и 6" накладывают пакет регулировочных шайб, определяемых по формуле 2.9, устанавливают в паз шпонку и надевают соединительную муфту. Для электродвигателей 8" и 10" пакет регулировочных шайб, определяемых по формуле 2.8, накладывают на торцы муфт. Сверху подводят к электродвигателю насос, в паз вала насоса устанавливают шпонку и осторожно опускают насос таким образом, чтобы шпильки электродвигателя вошли в отверстия подвода насоса, а вал – в соединительную муфту. Надев на шпильки пружинные шайбы, с целью исключения перекоса попеременно затягивают гайки крепления насоса и электродвигателя.

После соединения насоса с электродвигателем проверяют легкость вращения валов. Если они проворачиваются без приложения значительных усилий, то соединение считается удовлетворительным.

Благодаря применению технических решений, агрегат электронасосный скважинный, производимый на ОАО «Завод Промбурвод», имеет значительное снижение механических и гидравлических сопротивлений. Снижение тока нагрузки, позволило выполнить электродвигатель меньшим по длине и массе, диаметру и количеству витков медных проводов в обмотках статора, длины пазов в статоре, номинальной мощности, количества потребления электроэнергии и эксплуатационных затрат. Каждый направляющий аппарат и рабочее колесо выполнены с увеличенными внутренним и внешним диаметрами за счет уменьшения толщины стенок во всех направляющих аппаратах и

обеспечения увеличения центробежных сил и напора в каждой ступени и уменьшения общего количества ступеней в насосе [72].

## 2.5. Анализ рабочих процессов в многоступенчатом погружном насосе

Теория насосов базируется на законах и положениях гидромеханики идеальной и вязкой, практически несжимаемой жидкости. В основу ее положены свойства жидкой среды, обеспечивающие сплошное и непрерывное изменение параметров потока в рассматриваемом объеме. Движение жидкости в межлопастных каналах рабочего колеса отличается крайней сложностью и большой неопределенностью из-за неустановившегося движения под действием множества сил. Для характеристики кинематики потока необходимо установить величину и направление скорости в любой точке межлопастного канала, т.е. получить план скоростей.

Абсолютную скорость  $\vec{V}$  частицы жидкости в произвольной точке  $A$ , представленной на рис. 2.14, можно получить геометрическим суммированием переносной  $\vec{U}$  и относительной  $\vec{w}$  скоростей.

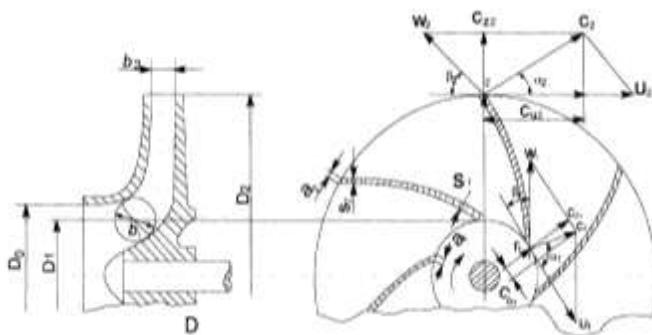


Рис. 2.14. Кинематика потока жидкости в рабочем колесе центробежного погружного насоса

Переносная скорость представляет собой окружную скорость рабочего колеса  $U = \omega r$ , относительная  $\vec{\omega}$  - характеризует движение жидкости по каналу.

При геометрическом суммировании получаем параллелограмм скоростей  $\vec{V} = \vec{U} + \vec{\omega}$ , который обычно заменяют треугольником скоростей. Углы наклона абсолютной и относительной скоростей и окружной обозначают через  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно. Для характеристики кинематики потока часто используют составляющие абсолютной скорости:  $V_m$  - меридианная (радиальная) и  $V_n$  окружная. Меридианную скорость  $V_m (V_r)$  определяют по уравнению неразрывности. Обычно достаточно построить треугольники скоростей для входа на лопасти рабочего колеса и выхода с лопастей.

Для анализа работы рабочего колеса применяют схему бесконечно большого числа лопастей  $z = \infty$ . В этом случае поток в рабочем колесе ассиметричный, а относительная скорость  $C_o$  в каждой точке направлена по касательной к скелету лопасти [70].

В практике насосостроения наибольшее распространение получили методы расчета рабочих колес на основе струйной теории и с использованием элементов теории подобия. В обоих методах широко используют характерные параметры и коэффициенты.

Для сравнения насосов необходимо иметь критерий, который отражал бы подобие конструкции и режимов работы насоса. В практике насосостроения применяют несколько таких критериев. Основные из них:

- удельная частота вращения, где  $n_{y0}$  - частота вращения эталонного насоса, который при подаче  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$  развивает напор 1 м при максимальном коэффициенте полезного действия;
- коэффициент быстроходности, где  $n_s$  - частота вращения эталонного насоса, работающего на воде с полезной мощностью 75 кгм/с при напоре 1 м и максимальном значении коэффициента полезного действия.

При расчете рабочих колес широко используют безразмерные коэффициенты. Коэффициент напора  $\psi$  дает возможность

приближенно определить величину  $U_2$  или  $D_2$  для получения требуемого напора для центробежных насосов  $\psi = 0,9..1,1$ . Подачу насоса принято характеризовать коэффициентом подачи  $\varphi$ . Коэффициент полезной мощности  $\mu$  характеризует напор и подачу. Коэффициент окружной скорости  $K_{U_2}$  определяет размеры рабочего колеса на выходе. Коэффициент входной скорости  $K_{v_0}$  оказывает влияние на размеры входной воронки колеса  $D_0$  и угла  $\beta_1$ .

## 2.6. Форма проточной полости ступени погружного насоса

Диаметральные размеры проточной полости погружного насоса ограничиваются диаметром скважины. Проектирование проточной полости необходимо производить таким образом, чтобы поместить насос заданных параметров в скважине с минимально возможным диаметром. Это объясняется тем, что стоимость сооружения скважины резко возрастает с увеличением её диаметра. В связи с этим в погружных насосах применяют лопаточные отводы радиального типа. Коэффициент быстроходности таких насосов меньше ста [61].

На выходе из проточной части ступени скорость жидкости максимальная, поскольку поток имеет определенную закрутку, отвод высокоэффективной ступени должен состоять из нескольких лопаток, образующих диффузорные каналы, и лопатки обратных каналов. В диффузорных каналах происходит плавное уменьшение скорости потока и частичная его раскрутка. Для максимального снижения гидравлических потерь направление входных элементов лопаток диффузорных каналов согласовывается с направлением потока на выходе из рабочего колеса. Лопатки обратных каналов завершают раскрутку потока и осуществляют подвод его к рабочему колесу в осевом направлении. Переход потока из диффузорных каналов в обратные каналы отвода происходит плавно и при обязательном условии, что скорости уже снижены в диффузорных каналах, так как в против-

ном случае резко увеличиваются потери и, соответственно, снижается гидравлический коэффициент полезного действия.

Таким образом, проточная полость ступени с радиальными диффузорными направляющими каналами и радиальными обратными каналами отвода является наиболее перспективной с точки зрения получения высоких энергетических характеристик.

Применение ступеней с большим коэффициентом быстроходности приводит к уменьшению выходного диаметра рабочего колеса, что позволяет увеличить радиальный размер отвода и применить радиальный лопаточный отвод с диффузорными каналами при минимальных диаметральных и осевых размерах насоса. При этом произойдет увеличение КПД ступени за счет влияния коэффициента быстроходности на следующие факторы: с увеличением коэффициента быстроходности возрастают значения объемного и внутреннего механического коэффициента полезного действия.

Роль отвода, как преобразователя энергии, при увеличении коэффициента быстроходности снижается, поскольку при больших значениях  $n_s$  отвод преобразует относительно меньшую часть кинетической энергии в потенциальную по сравнению с отводами при малых значениях  $n_s$ . Поэтому, приведенные выше оптимальные параметры диффузорных каналов отвода относятся только к ступени малой быстроходности. Тем самым длина диффузорных каналов может быть значительно уменьшена при сохранении высоких энергетических качеств отвода.

Отступление от квадратной формы входного сечения диффузорного канала отвода, при неизменной его площади, практически не приводит к снижению гидравлического коэффициента полезного действия. Прямоугольная форма входного сечения диффузорных каналов отвода является более предпочтительной для ступени погружных насосов, так как при этом требуемый радиальный размер отвода, при тех же параметрах диффузорных каналов, будет меньше, чем у отвода с квадратным входом в диффузорные каналы. Оптимальный режим работы насоса определяется величиной площади входного сечения направляющих каналов отвода. Применение входного сечения прямоугольной формы приводит к тому, что число лопаток отвода в погружных

насосах может быть значительно больше, чем у других типов насосов.

Угол атаки, при входе потока на лопатки отвода и форма профиля начального участка направляющих лопаток, практически не сказываются на характеристике ступени при сохранении площади входного сечения в диффузорный канал. Эти участки могут быть образованы дугами окружностей, плавно соединяющих входное сечение в диффузорный канал отвода с начальными участками направляющих лопаток. При обеспечении сравнительно большой длины межлопастных каналов рабочего колеса, наложение закрутки потока на входе не сказывается на характере течения потока на выводе из колеса и величине момента количества движения в этом сечении. Следовательно, наложением закрутки потока на входе в рабочее колесо можно воздействовать на характеристику ступени. Закрутка потока, перед входом в рабочее колесо, создается обратными каналами отвода предыдущей ступени.

Повышение напорности ступеней погружных насосов имеет большое значение, поэтому профилирование лопаток отвода, образующих обратные его каналы, должно производиться таким образом, чтобы поток при входе в рабочее колесо имел нулевую или некоторую отрицательную закрутку. В ступенях с обратными каналами отводов, создающих отрицательную закрутку на входе в рабочее колесо, было получено повышение напора без снижения коэффициента полезного действия [67].

Конструкция радиального лопаточного отвода наиболее технологична и позволяет организовать массовое производство с применением технологических процессов, обеспечивающих необходимую чистоту поверхности (литье из пластмассы). Рабочее колесо также должно иметь технологическую конструкцию и изготавливаться теми же методами, что и отводы. Только в этом случае можно получить требуемую чистоту поверхности проточной полости и сохранить в промышленных образцах высокие энергетические характеристики [47].

## 2.7. Расчет ступени погружного центробежного насоса

Исходными данными для расчета являются подача  $Q$ , напор  $H$ , частота вращения  $n$ , род перекачиваемой жидкости, материал рабочего колеса и другие данные.

Исследования многоступенчатых насосов с лопаточными отводами показывают, что характеристики первой и промежуточных ступеней могут существенно отличаться из-за влияния закрутки потока при входе в рабочее колесо промежуточной ступени. Поэтому, для построения общей характеристики насоса, по данным эксперимента, необходимо иметь характеристики, как первой, так и промежуточной ступеней [88].

В процессе опыта по снятию рабочей характеристики, подача регулируется с помощью задвижки, установленной на напорном трубопроводе, и изменяется в пределах от нуля до значения, превышающего расчетное на 20...30%, и затем снова до нуля. Открытия задвижки устанавливаются таким образом, чтобы получить 15...30 замеров.

По заданным параметрам, предварительно определив конструктивную схему насоса, число ступеней, потоков, определяем напор ступени:

$$H_{cm} = \frac{H}{n_{cm}} \quad (2.9)$$

Определяем коэффициент быстроходности:

$$n_s = 3.65 \times n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (2.10)$$

Колеса с низким и средним коэффициентами быстроходности ( $n_s < 100$ ) рассчитывают и профилируют по средней струйке. Полость рабочего колеса имеет цилиндрическую форму, т.е. располагается нормально к основному и покрывающему дискам. Как показали экспериментальные исследования, придание пространственной формы лопасти на входе улучшает гидравлические качества рабочего колеса и форму характеристики. Поэтому лопасть в некоторых случаях выполняют пространственной на входе и цилиндрической на выходе.

Гидравлический коэффициент полезного действия определяем по формуле:

$$\eta = 0.7 + 0.0835 \times \lg D_{\partial} , \quad (2.11)$$

где  $D_{\partial} = 4 \times \sqrt[3]{\frac{Q_p}{n}}$  - приведенный диаметр входа в рабочее колесо.

Определяем объемный коэффициент полезного действия:

$$\eta_{об} = \frac{1}{1 + \frac{0.68}{\sqrt[3]{n_S^2}}} \quad (2.12)$$

Внутренний механический коэффициент полезного действия [83] определяем по формуле:

$$\eta_{мех.вн.} = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_S^2}} \quad (2.13)$$

Общий КПД ступени:

$$\eta_{ст} = \eta_{об} \times \eta_z \times \eta_{мех.вн.}$$

Мощность ступени насоса рассчитываем по выражению:

$$N = \frac{Q \times \rho \times g \times H}{102 \times \rho} , \quad (2.14)$$

где  $\rho$  - плотность рабочей жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ;

$g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$  .

Переносная скорость:

$$U_2 = \sqrt{2 \times g \times H_{сн}} \quad (2.15)$$

Диаметр вала:

$$d_6 = 200 \times \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \quad (2.16)$$

Находим диаметр рабочего колеса:

$$D_2 = 19.1 \times \frac{\sqrt{2 \times g \times H_{сн}}}{n} \quad (2.17)$$

Диаметр втулки принимаем:

$$d_{вт} = 1.2 \times d_6 \quad (2.18)$$

Определяем расчетную подачу ступени:

$$Q_p = \frac{Q}{\eta_{об}} \quad (2.19)$$

Находим утечки в уплотнении:

$$q_y = Q_p - Q \quad (2.20)$$

Определяем скорость жидкости на входе в колесо:

$$g_0 = 0.7 \times \sqrt[3]{Q_p \times n^2} \quad (2.21)$$

Определяем диаметр входной воронки:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \times Q_p}{\pi \times g_0} + d_{ам}^2} \quad (2.22)$$

Диаметр расположения входной кромки лопатки  $D_1$ :

$$D_1 = (0.8 - 1) \times D_0 \quad (2.23)$$

Ширина лопатки на входе [13]:

$$b_1 = \frac{Q_p}{\pi \times D_1 \times g_0} \quad (2.24)$$

Угол безударного входа потока в колесо:

$$tg \beta_{1m} = \frac{g_{1m}}{U_1}, \quad (2.25)$$

где  $g_{1m} = k \times g_0$ , здесь  $k_1$  - коэффициент стеснения на входе:

$$k_1 = 1.15 - 1.2, \quad (2.26)$$

$$U_1 = \frac{\pi \times D_1 \times n}{60} \quad (2.27)$$

Определяем угол установки лопатки на входе в насос:

$$\beta_1 = \beta_1 \times n + \delta, \quad (2.28)$$

где  $\delta = 5 - 10^\circ$  - угол атаки.

Угол  $\beta_1$  должен находиться в пределах  $15-30^\circ$ .

Угол установки лопатки на выходе из колеса:

$$\sin \beta_2 = \frac{W_1}{W_{2\infty}} \times \frac{k_2}{k_1} \times \frac{g_{2m\infty}}{g_0} \times \sin \beta_1, \quad (2.29)$$

где  $k_2 = 1.0 - 1.1$  - коэффициент стеснения сечения лопастями на выходе из колеса; отношение меридиональной скорости на

выходе из колеса  $\mathcal{G}_{2m\infty}$  к скорости на входе в колесо  $\mathcal{G}_0$  принимается равным  $0.8-1.1 \left( \frac{\mathcal{G}_{2m\infty}}{\mathcal{G}_0} = 0.8 - 1.1 \right)$ ; отношение относитель-

ной скорости на входе в колесо  $W_1$  к относительной скорости на выходе из колеса  $W_2$  принимается в зависимости от коэффициента быстроходности  $n_S$ .

Число рабочих лопаток:

$$z = 6.5 \times \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \times \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (2.30)$$

Определяем теоретический напор при бесконечном числе лопаток:

$$H_\infty = (1 + p) \times H_{m.cm}, \quad (2.31)$$

здесь

$$p = \frac{2 \times \psi}{z} \times \left[ \frac{1}{1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2} \right], \quad (2.32)$$

$\psi = (0.55 \div 0.65) + 0.6 \times \sin \beta_2$  - эмпирический коэффициент.

Определяем окружную скорость:

$$U_2 = \frac{\mathcal{G}_{2m}}{2 \times \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left( \frac{\mathcal{G}_{2m}}{2 \times \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + g \times H_{m\infty}}, \quad (2.33)$$

где  $\mathcal{G}_{2m} = k_2 \times \mathcal{G}_{2m\infty} = k_2 \times 0.9 \mathcal{G}_0$ . (2.34)

Диаметр выхода:

$$D_2 = \frac{60 \times U_2}{\pi \times n}, \quad (2.35)$$

Ширина канала на выходе:

$$b_2 = \frac{Q_p}{\pi \times D_2 \times \mathcal{G}_{2m}}. \quad (2.36)$$

Коэффициент стеснения на выходе (проверка):

$$k'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \times \delta}{\pi \times D_1 \times \sin \beta_2}}, \quad (2.37)$$

где  $\delta$  - толщина лопатки на входе и выходе из колеса, принимается равной 1.5-3 мм [34].

Сравниваем значения  $k_2$  и  $k'_2$ . При различии их более чем на 5% расчет необходимо повторить, изменяя значение  $\beta_2$ ,  $z$ .

Коэффициент стеснения на входе в колесо (проверка):

$$k'_1 = \frac{1}{1 - \frac{z \times \delta}{\pi \times D_1 \times \sin \beta_1}} \quad (2.38)$$

Сравниваем значения  $k_1$  и  $k'_1$ . При различии значения более чем на 5% расчет повторяем, изменяя  $\beta_1$ ,  $z$ .

## 2.8. Расчет уплотнения рабочего колеса

Определяем диаметр уплотнения:

$$D_y = 1.1 \div 1.2 \times D_o \quad (2.39)$$

Напор  $h_y$ , теряемый в уплотнении, определяем как разницу теоретического напора и напора, теряемого в пазухе колеса [65]:

$$h_y = H_m - \frac{U_2^2}{8g} \times \left[ 1 - \left( \frac{D_y}{D_2} \right)^2 \right], \quad (2.40)$$

где

$$H_m = \frac{H_{cm}}{\eta_2} \quad (2.41)$$

Для насосов с малой подачей радиальный зазор в уплотнении ( $\delta_y$ ) принимаем равным 0.2 – 0.3 мм.

Определяем скорость в уплотнении:

$$U_y = \frac{g_y}{\pi \times D_y \times \delta_y} \quad (2.42)$$

Определяем критерий по методу Рейнольдса [57]:

$$R_e = \frac{2 \times U_y \times \delta_y}{\nu}, \quad (2.43)$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкость,  $m^2/c$ .

Коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$ :

$$\text{при } R_e < 2300 \quad \lambda = \frac{64}{R_e}, \quad \text{при } R_e > 2300 \quad \lambda = \frac{0.3164}{R_e^{0.25}}. \quad (2.44)$$

Коэффициент расхода:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1.5 + \frac{\lambda \times \ell_y}{4 \times \delta_y}}} \quad (2.45)$$

Утечка в уплотнении рабочего колеса:

$$g_{y_1} = \mu \times f_y \times \sqrt{2 \times g \times h_y}, \quad (2.46)$$

где  $f_y = \pi \times D_y \times \delta_y$  - площадь проходного сечения щели.

Задаваясь длиной уплотнения  $\ell_y$ , методом последовательных приближений определяем  $g'_y$ , равную  $g_y$ . При этом, значение  $\ell_y$  должно находиться в пределах  $0.12 \div 0.15 D_y$  или в пределах, определяемых конструкцией колеса. Если при заданной  $g_{y_1}$ , выходит за указанные пределы,  $\ell_y$  корректируется соответственно  $g_y$  и расчет повторяется [63].

## 2.9. Построение характеристик насоса

Определяем максимальную теоретическую подачу насоса:

$$Q_{max} = \pi \times D_2 \times b_2 \times \text{tg} \beta_2 \times U_2 \quad (2.47)$$

Строим зависимость теоретического напора насоса от подачи  $H_{mn} = f(Q)$ . При  $n = const$  - зависимость линейная.

Для построения используем две точки  $H_{mn} = 0$  при  $Q_{max}$  и при подаче  $Q$  (проектной) теоретический напор насоса  $H_{mn} = H_m \times n$

Строим графическую зависимость потерь напора на трение от подачи  $h_{mp} = f(Q)$ . Эта зависимость при  $n = const$  будет тоже линейной. Построение выполняем по двум точкам: при  $Q = 0$   $h_{mp} = 0$ , при  $Q = Q_{ges}$   $h_{mp} = (1 - \eta_c) \times H_{mn}$ , здесь

$Q_{без} = \pi \times D_2 \times b_2 \times \mathcal{G}_2 \times m$ - подача, соответствующая режиму безударного входа в колесо.

Строим графическую зависимость потерь на удар и вихреобразование ( $h_{вихр}$ ) при отклонении режима от расчетного  $k_{уд} + h_{вихр} = f(Q)$ .

Для построения используем выражение [91]:

$$h_{уд} + h_{вихр} = n \times \frac{\varphi}{2 \times g} \times \left[ u_1^2 + \left( \frac{u_2}{I+p} \times \frac{D_2}{D_y} \right)^2 \right] \times \left( 1 - \frac{Q}{Q_{без}} \right)^2 \quad (2.48)$$

Коэффициент удара:  $\varphi = 0.6 \div 0.7$ .

Вычитая сумму ординат зависимости  $h_{мп} = f(Q)$  и  $h_{уд} + h_{вихр} = f(Q)$  из соответствующих ординат графической зависимости  $H_{тн} = f(Q)$ , получаем ординаты расчетной зависимости  $H = f(Q)$ .

Строим зависимость  $\eta = f(Q)$  по двум точкам: при  $Q = 0$   $\eta = 0$  и при проектной подаче  $Q$

$$\eta = \eta_{об} \times \eta_2 \times \eta_{мех.вн} \quad (2.49)$$

Строим зависимость мощности от подачи  $N = f(Q)$ . При этом по графическим зависимостям  $N = f(Q)$  и  $\eta = f(Q)$  определяем соответствующие значения  $H$  и  $\eta$ , а затем вычисляем значение мощности по формуле:

$$N = \frac{Q \times \rho \times H}{102 \times \eta} \quad (2.50)$$

По вычисленным значениям мощности ( $N$ ) и соответствующим им значениям подачи строим графическую зависимость  $N = f(Q)$ . Данная методика проверена при построении характеристик в работе [101].

## 2.10. Профилирование меридианного сечения колеса

В качестве входного принимается сечение  $0-0$ , расположенное от сечения  $0'-0'$  (начало криволинейной части колеса) на расстоянии, равным  $0,05 \times D$ , (см. рис.2.15).

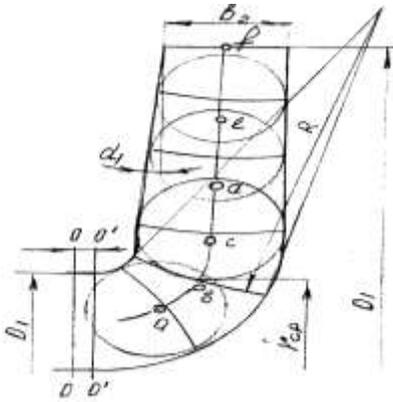


Рис.2.15. Средняя линия и нормали в меридианном сечении колеса

Форма меридианного сечения определяется законом  $\varrho_{\text{м}} = f(\omega)$ . Площади проходных сечений колеса должны плавно возрастать от входа к выходу. График изменения площадей проходных сечений представлен на рис.2.16.

Здесь по оси ординат отложены проходные площади ( $F$ ), по оси абсцисс – положение соответствующих сечений на развертке средней линии канала ( $e$ ) в меридианном сечении (см. рис. 2.15). Наиболее благоприятные результаты дает выпуклая кривая  $F = f(e)$ . В первом приближении контуры стенок намечаются предварительно на основании имеющегося опыта.

Вычисляем площади проходного сечения на входе

$$F_0 = \frac{\pi}{4} \times (D_1^2 - d_{\text{ав}}^2) \text{ и на выходе } F_2 = \pi \times D_2 \times b_2.$$

На графике (рис.2.16) наносим точки, соответствующие  $F_0$  и  $F_2$ . Затем намечаем желаемую форму кривой  $F = f(b)$ , входной участок которой направляем по биссектрисе угла  $\alpha$ .

В меридианном сечении (см. рис. 2.15) на всем протяжении канала строим несколько нормалей к крайним линиям тока, подсчитываем проходные площади в колесе, по каждой нормали и также наносим соответствующие точки на график.

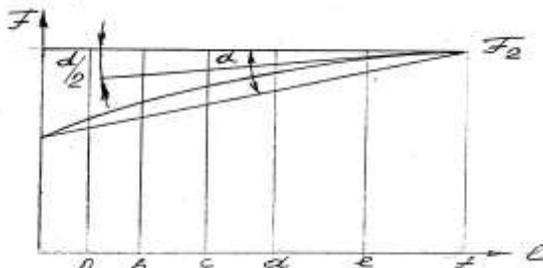


Рис. 2.16. График проходных сечений колеса

При этом абсцисса каждой точки определяется местом пересечения данной нормали со средней линией. При первом приближении (попытке) закон изменения площадей, скорее всего не совпадет с желаемым, что потребует корректировки контуров стенки. После корректировки уточняем положение и длину средней линии, а также положение и форму нормалей. Корректировку продолжаем до получения желаемой формы кривой  $F = f(e)$ .

При построении нормалей нужно учитывать, что каждая нормаль является дугой окружности радиуса  $R$ , центр которой определяется точкой  $(S)$  пересечения касательных к стенкам (линиям тока) в точках  $A$  и  $B$  (см. рис. 2.15)

Если точка  $S$  лежит за пределами чертежа, нормали проводятся «на глаз», но при этом должно соблюдаться условие, чтобы касательные  $AC$  и  $BC$  к нормали пересекались в центре вписанной окружности диаметра  $d$ , представленного на рис. 2.17. Середина дуги нормали должна проходить через точку, расположенную, приблизительно, на половине высоты треугольника  $ABC$ . Промежуточные площади определяем по формуле:

$$F_i = 2 \times \pi \times r_{ц.м} \times l_{ni}, \quad (2.51)$$

где  $l_{ni}$  - длина нормали,  $r_{ц.м.}$  - расстояние центра тяжести нормали от оси колеса.

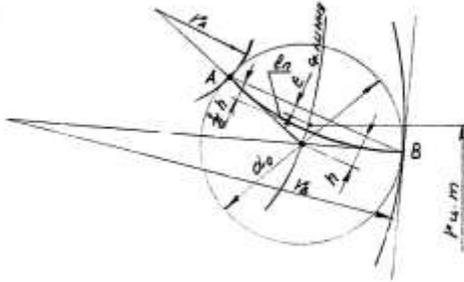


Рис. 2.17. Построение нормали

Длину нормали определяем приближенным соотношением:

$$l_n = \frac{2 \times \overline{AB} + d_0}{3}, \quad (2.52)$$

здесь  $\overline{AB}$  - длина хорды, стягивающей нормаль,

$d_0$  - диаметр вписанной окружности.

Положение центра тяжести нормали определяем величиной  $\varepsilon = \frac{h}{3}$ , где  $h$  - высота треугольника  $ABC$ . При такой кривизне нормали ее длину принимаем равной длине хорды, а центр тяжести – лежащим на самой нормали.

Однако, соблюдение равенства отрезков  $AB$  и  $BC$ , касательных к нормали (см. рис. 2.17) является обязательным и служит признаком правильного их проведения. Все размеры, необходимые для подсчета промежуточных площадей, снимаются с чертежа.

Достигаемая при этом точность зависит от масштаба, который следует выбирать таким, чтобы диаметр колеса на чертеже составлял не менее 250 мм.

## 2.11. Профилирование цилиндрических лопастей

Профилирование лопастей выполняем методом конформного отображения (рис. 2.18) по средней струйке тока.

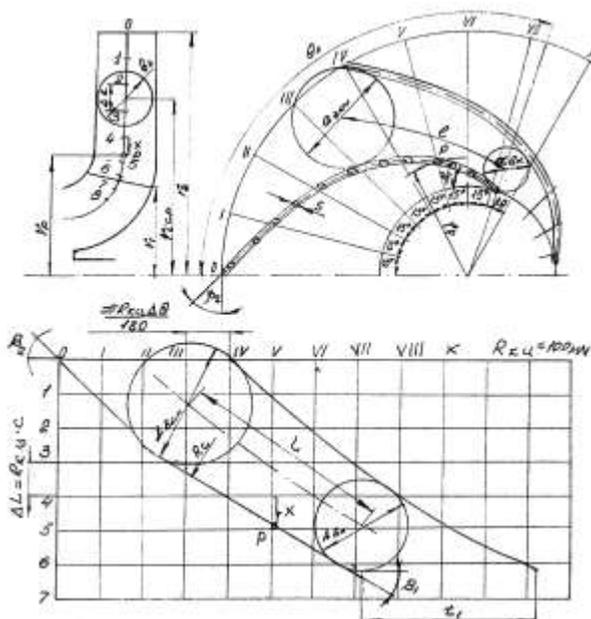


Рис. 2.18. Построение цилиндрической полости методом конформного отображения

В качестве отображающей поверхности принимается цилиндр. Среднюю линию тока на меридианной проекции разбиваем на ряд участков, выполняя условие  $\frac{\Delta \ell}{g_{icc}} = const = c$  и полу-

чаем точки  $1, 2, \dots, n$ . Постоянную  $c$  принимаем равной  $0.1$ .

На развертке конформного цилиндра проводим горизонтальные линии, удаленные одна от другой на  $\Delta \ell = R_{к.ц.} \times c$ . На плане рабочего колеса проводим радиальные сечения  $I, II, \dots, X$ , через равные углы  $\Delta \theta = 10 - 15^\circ$ . На развертке цилиндра они соответ-

ствуют вертикальным линиям, удаленным одна от другой на расстояние, равное  $\pi \times R_{\text{ш}} \times \Delta Q / 180$ .

Определяем положение входной кромки и задаемся углом охвата лопасти  $Q_n = 80 - 120^\circ$ . Из точек на поверхности цилиндра, соответствующих выходной (точка  $O$ ) и входной (точка между параллельными 6 и 7 угла  $Q_n$ ) кромкам, проводим лучи под углами  $\beta_2$  и  $\beta_1$  соответственно.

Затем эти лучи соединяем плавной кривой (радиусом  $R_c$ ). Полученная таким образом линия представляет собой конформное отображение средней линии профиля.

Если лучи (прямые) не пересекаются или пересекаются с резким изменением направления, изменяем форму конформного отображения, изменив  $Q$ ,  $\beta$  или положение входной кромки (диаметр  $D_1$ ). Смещаясь на развертке цилиндра на угол, соответствующий угловому шагу лопастей, строим отображение скелета соседней лопасти и т.д.

Для переноса средней линии на план используем точки пересечения ее с меридианными сечениями (прямыми  $I, II, \dots, x$ ).

На рис. 2.18 показан способ переноса точки  $P$ . По конформной диаграмме определяем отношение  $\mu = \frac{x}{\Delta L}$ . В таком же

отношении делим участок  $\Delta \ell_{4-5}$  по определенной проекции и определяем  $x$ .

Радиусом  $r_p$  делаем засечку на радиальной прямой  $V$  плана рабочего колеса. Получив скелет лопасти, «одеваем» его «телом» толщиной  $S$ . Затем строим соседнюю лопасть, сместив все точки на угловой шаг.

## 2.12. Расчет и профилирование лопаточного отвода

Отвод выполняем в виде частичных спиральных камер, охватывающих выходное сечение рабочего колеса и переходящих

в диффузорные каналы прямоугольного сечения. Диффузорные каналы, в периферийной части отвода, постепенно переходят в подводящие каналы, обеспечивая поворот потока в меридианной плоскости на  $180^\circ$  и его равномерный подвод к колесу следующей ступени. На всем пути, от периферии рабочего колеса до колеса следующей ступени, поток проходит по сплошному непрерывному каналу.

Входной диаметр:  $D_3 = (1.02 - 1.05) \times D_2$

Входная ширина:  $b_3 = b_2 + (2 - 4 \text{ мм})$ .

Радиальная составляющая скорости на входе:

$$g_{3m} = \frac{Q}{\pi \times D_3 \times b_3} \quad (2.54)$$

Окружная составляющая скорости на входе в направляющий аппарат:

$$g_{3u} = \frac{H_m \times g}{D_3 \times \omega} \quad (2.55)$$

Угол потока на входе:

$$\alpha'_3 = \text{arctg} \left( \frac{g_{3m}}{g_{3u}} \right) \quad (2.56)$$

Радиальная составляющая скорости на входе с учетом стеснения:

$$g'_{3m} = \frac{g_{3m}}{\psi_3}, \quad (2.57)$$

где коэффициент стеснения на входе в направляющий аппарат  $\psi_3 = 1.0 \div 1.1$

Угол потока на входе с учетом стеснения:

$$\alpha'_3 = \text{arctg} \left( \frac{g_3 \times m}{\psi \times g_3 \times u} \right) \quad (2.58)$$

Угол установки лопаток отвода (рис.2.19):

$$\text{tg} \alpha_{3л} = \mu \times \text{tg} \alpha'_3, \quad (2.59)$$

где  $\mu = 1.2 \div 1.8$  - эмпирический коэффициент, который учитывает неравномерность распределения скоростей по шагу лопастей рабочего колеса и обратные токи в рабочем колесе.

Меньшие значения  $\mu$  берутся для малых значений  $n_s$ .

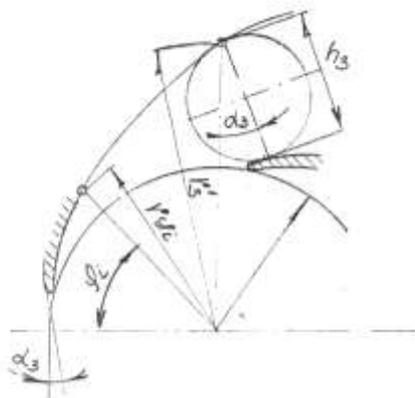


Рис. 2.19. Схема лопаточного отвода

Размер спирального участка канала в плане:

$$r'_3 = \frac{D_3}{2} \times e^{\frac{2 \times \pi}{z_{н.а.}}} \times \mu \times \operatorname{tg} \alpha'_3, \quad (2.60)$$

где  $z_{н.а.}$  - число лопаток направляющего аппарата отвода, принимаем равным  $z + 1$  [54].

Высота канала:  $h_3 = b_3$ . Толщина лопатки  $l - 4 \text{ мм}$ .

Для упрощения изготовления диффузор проектируется прямоосным с расширением в двух направлениях: осевом и радиальном. Выходным сечением диффузора принимается расчетное сечение спирального участка.

Углы расширения диффузора в двух взаимно перпендикулярных плоскостях:

$$\text{осевой } \varphi_{ос} = 4 - 6^\circ,$$

$$\text{радиальный } \varphi_{рад} = 9 - 11^\circ.$$

Длина диффузора:

$$e = (3 \div 4)h_3 \quad (2.61)$$

Наружный диаметр отвода:

$$D_4 = (1.2 \div 2.5)D_3 \quad (2.62)$$

Диаметр выхода из подвода:

$$D_5 = (1.1 \div 1.2)D_0 \quad (2.63)$$

Количество лопаток обратного подвода принимаем равным числу лопаток обратного направляющего аппарата:

$$z_n = z_{n.a..} \quad (2.64)$$

Для обеспечения радиального входа в колесо, на выходе из обратного подвода, лопасти устанавливаются по радиусу.

Для получения надлежащей кривизны лопатка обратного подвода проектируется как одно целое с лопаткой направляющего аппарата, а затем, конструктивно, одна половина располагается в направляющем аппарате, а вторая – в обратном подводе. Профилирование лопатки выполняется графическим методом «искаженных» треугольников [33].

### **2.13. Технические характеристики и устройство бустерных агрегатов**

Для повышения напора потока жидкости и обеспечения её циркуляции в системах отопления и водоснабжения традиционно применяются консольные, консольно-моноблочные, центробежные и другие агрегаты. Применение на данном этапе консольных агрегатов имеет определенные проблемы и неудобства: установка их требует сооружения массивного фундамента для снижения уровня вибрации; агрегаты создают повышенный шум; для нормальной эксплуатации необходимо монтировать дренажную систему для отвода воды, со временем просачивающейся из-под сальника, который нуждается в регулярной набивке. На рис. 2.20 представлена фотография утечки воды из консольного насоса через сальник.



Рис. 2.20 Утечки воды через сальниковую набивку консольного насоса

При его износе смазка попадает в перекачиваемую воду, что недопустимо по санитарным нормам. Кроме того, требуется систематическое техническое обслуживание и присутствие квалифицированного обслуживающего персонала. После проведения ремонтных работ необходимо произвести центровку консольного насоса и электродвигателя, которая выполняется в непригодных для этого условиях, что влечет за собой скорый выход агрегата из строя и как следствие – новый ремонт.

Указанные недостатки не присущи бустерным агрегатам, производство которых освоено на ОАО "Завод Промбурвод".

В условное обозначение агрегата входит: БАГ - обозначение бустерного агрегата горизонтального исполнения с указанием типоразмера примененного электронасоса, его номинальной подачи в м<sup>3</sup>/ч и напора в метрах; Гр - для горячего ( до 75 °С ) водоснабжения, УХЛ4 - вид климатического исполнения.

Бустерный агрегат вертикального и горизонтального исполнения [52, 53], представленные соответственно на рис.2.21 и 2.22, состоит из корпуса 1, в котором размещен погружной электронасосный агрегат 2.

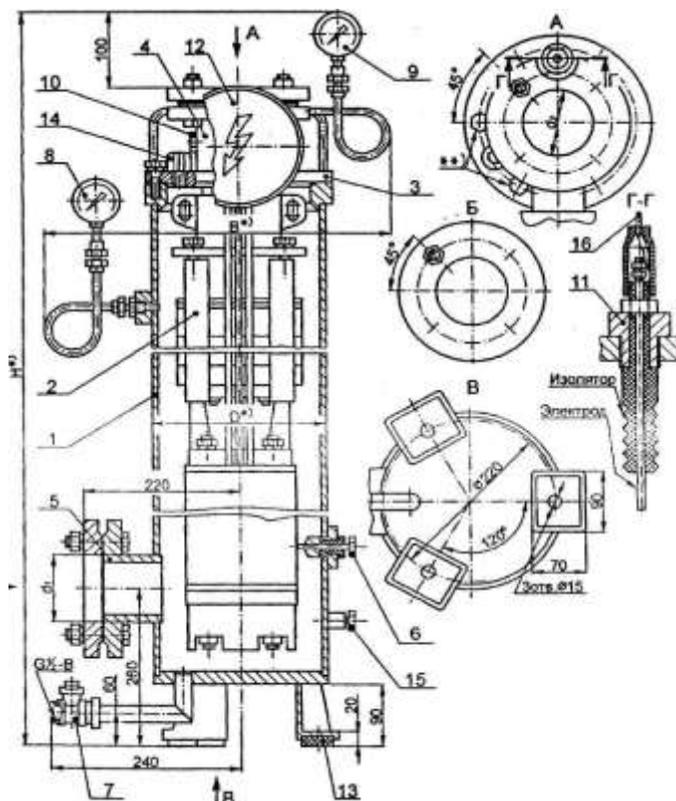


Рис.2.21. Бустерный агрегат вертикального исполнения:

1 – корпус; 2 – агрегат электронасосный; 3 – крышка; 4 – напорный патрубок; 5 – патрубок подводящий; 6 – болт фиксации; 7 – кран; 8 и 9 – манометры; 10 – пробка; 11 – датчик «сухого хода»; 12 – коробка клемная; 13 – подкладка виброизолирующая; 14 – отводчик воздуха; 15 – болт заземления; 16 – провод ПВЗх1,5

Герметичный корпус имеет патрубок 5 для подвода воды во внутреннюю полость. На верхнюю часть корпуса устанавливается крышка 3 с нагнетательным патрубком 4. Трубопроводы к агрегату присоединяются посредством привариваемых при монтаже фланцев, поставляемых совместно с агрегатом. На крышке 3 агрегата установлена коробка клемная 12 для подключения агрегата к сети. На нижнем фланце крышки 3 установлен автома-

тический отводчик воздуха 14 для выпуска воздуха из корпуса 1 при заполнении его водой и установлен датчик «сухого хода» 11, предназначенный для подачи сигнала на отключение агрегата при отсутствии воды в корпусе. На напорном патрубке 4 имеется пробка 10 для выпуска воздуха из агрегата электронасосного 2 при его запуске. На верхнем фланце крышки 3 установлен манометр 9 для контроля давления (напора), создаваемого агрегатом электронасосным 2 в процессе эксплуатации. Все соединения агрегата выполнены герметичными. Агрегат снабжен ответными фланцами для подсоединения к подводящей и напорной магистралям.

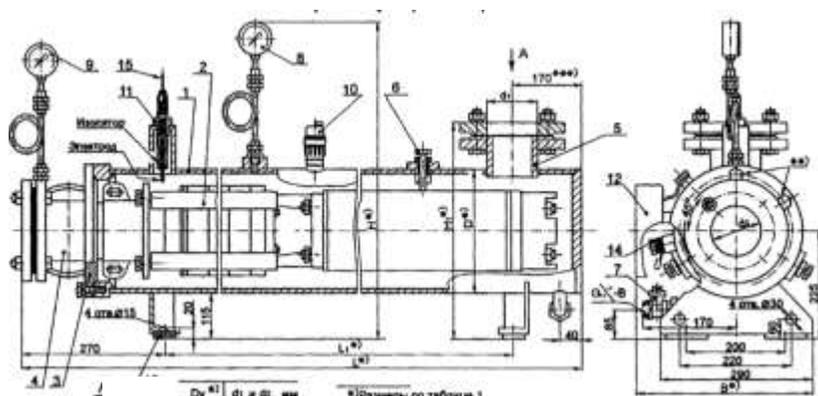


Рис. 2.22. Бустерный агрегат горизонтального исполнения:  
 1 – корпус; 2 – агрегат электронасосный; 3 – крышка; 4 – напорный патрубок; 5 – патрубок подводящий; 6 – болт фиксации; 7 – кран; 8 и 9 – манометры; 10 – отводчик воздуха; 11 – датчик «сухого хода»; 12 – коробка клеммная; 13 – подкладка виброизолирующая; 14 – болт заземления; 15 – провод ПВЗх1,5 ГОСТ6323-79

Пломбирование агрегата произведено эмалью в местах, указанных на рисунке 2.21 и 2.22. Агрегат устанавливается в системе водоснабжения в вертикальном положении в закрытых отапливаемых помещениях напорных станций или в других помещениях с плюсовой температурой внутри и может работать последовательно с насосным агрегатом, имеющим идентичную или большую подачу, или транспортировать воду из емкостей.

Бустерный агрегат, смонтированный в соответствии с рис. 2.23, подключенный через станцию управления и защиты 2 подает воду под напором в воздушно-водяной бак 3 или другое напорно-регулирующее устройство и далее в систему водоснабжения.

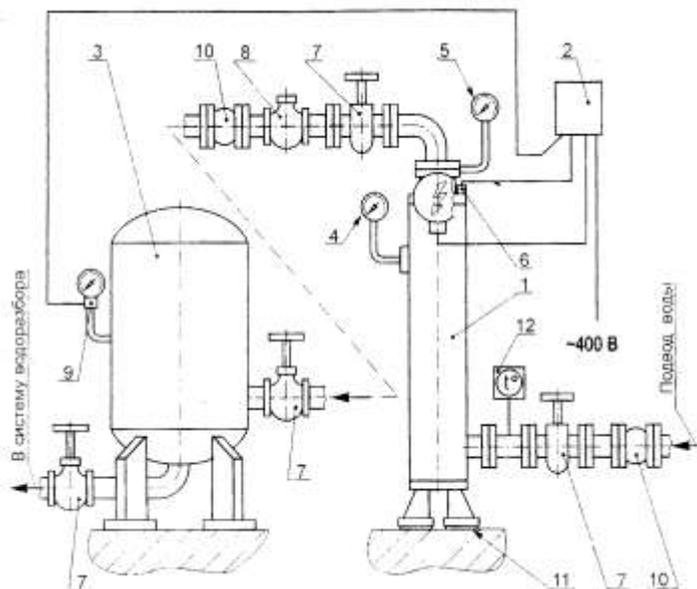


Рис. 2.23. Схема монтажа бустерного агрегата:

1 – агрегат бустерный; 2 – станция управления и защиты; 3 – воздушно – водяной бак; 4 и 5 – манометры; 6 – датчик «сухого хода»; 7 – задвижка, вентиль или кран; 8 – обратный клапан; 9 – электроконтактный манометр или реле давления; 10 – компенсатор; 11 – виброизолирующая подкладка; 12 – термометр

Контроль давления осуществляется в соответствии с показаниями манометров 4 и 5 и датчика «сухого хода» 6. Регулировка расхода осуществляется через запорную трубопроводную арматуру: задвижку, вентиль или кран 7 и обратный клапан 8. При расходе воды из бака 3, меньшем подачи агрегата 1, или при отсутствии водоразбора, вода будет заполнять бак 3, сжимая находящийся в нем воздух до давления выключения, на которое

при настройке отрегулирован электроконтактный манометр 9 или реле давления. При выключенном агрегате 1 вода к точкам водоразбора подается из бака под давлением сжатого воздуха. По мере расходования воды из бака 3 давление в нем будет падать и, при достижении давления включения, по сигналу электроконтактного манометра 9 станция управления и защиты 2 повторно включит агрегат 1 в работу. На подводящей и напорной магистралях могут устанавливаться резиновые компенсаторы 10. Агрегат 1 крепится на полу или фундаменте через виброизолирующие подкладки 11. На подводящей магистрали устанавливается термометр 11.

Монтаж агрегата, подключение его к электросети и к системе водоснабжения для конкретного объекта определяется проектом объекта, который разрабатывается специализированной организацией.

В бустерных агрегатах для систем горячего водоснабжения и отопления применяются специальные погружной электродвигатель и центробежный насос [55], работоспособные при температуре воды до 75<sup>0</sup>С. На такую температуру наружная поверхность корпуса агрегата должна быть теплоизолирована.

Бустерный агрегат эксплуатируется совместно с системами автоматического управления по предельным значениям давления, по времени и по уровню воды. Эти системы должны иметь также защиту агрегата от включения при отсутствии воды в подводящем трубопроводе или недостаточном напоре.

Бустерный агрегат должен работать последовательно с погружным электронасосным агрегатом. При этом производительность последнего должна превышать производительность бустерного агрегата. Им можно также подавать воду из емкостей, обеспечивающих постоянный подпор не менее двух метров. Хорошо, если агрегаты подобраны точно под параметры системы водоснабжения, но часто бывает, что номинальную подачу и напор насоса изменяют регулирующей арматурой на напорном трубопроводе. Это приводит к снижению КПД агрегата.

## 2.14. Технические характеристики и устройство тепловых установок

Установки тепловые предназначены для преобразования кинетической энергии жидкости, вращаемой под давлением специальным аппаратом по замкнутому контуру, в тепловую энергию за счет сложных гидродинамических и кавитационных процессов.

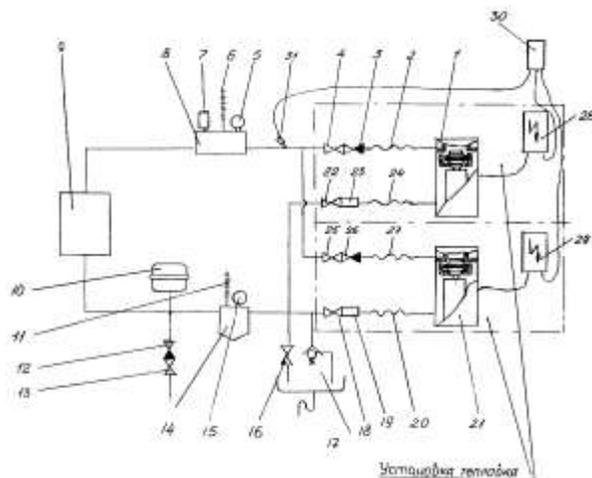


Рис. 2.24. Принципиальная схема отопления:

1, 21 – агрегат кавитационный роторный; 2, 20, 24, 27 – резиноканевый рукав; 3, 12, 26 – обратные клапана; 4; 12; 16; 18; 22; 25; - краны; 5; 15 – манометры; 7 – автоматический спуск воздуха; 8 – воздухосборник; 9 – тепловая нагрузка; 10 – расширительный сосуд; 14 – грязевик; 17 – предохранительный клапан; 28; 29 – пульты управления; 30 – пульт автоматики; 31 – датчик температуры

Установка, принципиальная схема которой представлена на рис.2.24, может применяться в закрытых автономных системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения объектов, в том числе жилых зданий, а также в технологических процессах нагрева жидкости или воздуха. Тепловые установки просты по конструкции в эксплуатации и обслуживании, надежны, пожаро-

и взрывобезопасны, экологически чисты, не требуют водоподготовки и больших затрат на строительство [20].

Установка тепловая, представленная на рис.2.25, состоит из герметичного корпуса 1, погружного электродвигателя 2, кавитационного преобразователя энергии 3. Установка подключается к трёхфазной сети 12 переменного тока напряжением 400 В частотой 50 Гц через устройства управления 10, обеспечивающие автоматический режим работы и через устройство автоматики 11 по заданной температуре теплоносителя через термодатчик 7. Устройство имеет аварийное отключение при исчезновении фазы, перегреве электродвигателя или теплоносителя внутри установки через термодатчик аварийного отключения 9.

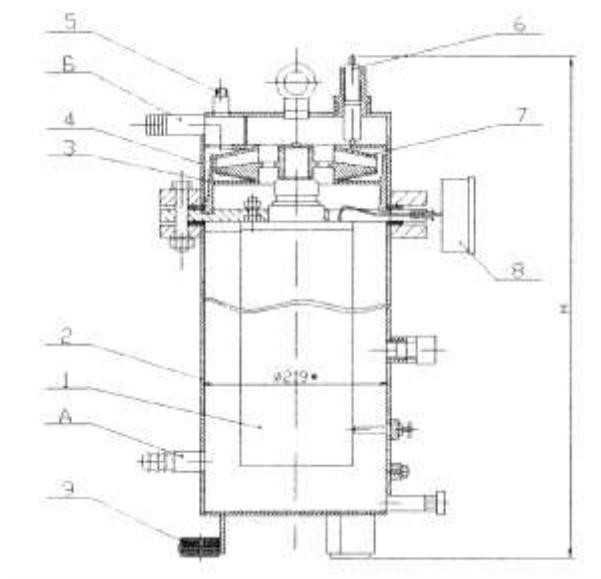


Рис. 2.25. Установка тепловая:

1 - погружной электродвигатель; 2 - корпус; 3 - сепаратор; 4 - коллак; 5 - пробка; 6 - регулировочный винт; 7 - рабочее колесо; 8 - коробка; 9 - амортизатор; А - патрубок подвода воды; Б - патрубок отвода воды

Кавитационный преобразователь энергии включает подвижное рабочее колесо (ротор) с одно или двусторонним входом жидкости и неподвижный статор, расположенные в камере или крышке с водяной рубашкой. Привод ротора осуществляется от

погружного водозаполненного электродвигателя. Ротор снабжен множеством каналов для перемещения жидкости. Все каналы наклонены относительно оси вращения ротора в направлении против заданного направления вращения. При вращении ротора жидкость в каналах выталкивается центробежной силой и сталкивается с неподвижным статором. Наружный диаметр ротора меньше внутреннего диаметра статора для обеспечения кольцевого зазора. Статор также имеет проходные осевые отверстия.

Таким образом, включенный в электросеть электродвигатель вращает рабочее колесо в виде ротора с отверстиями, при пересечении которых с аналогичными отверстиями и промежутками между ним расположенного соосно неподвижного статора, создается изменяющееся пульсирующее давление в зоне контакта, а также постоянное давление на выходе из напорного штуцера.

Наличие пульсирующего давления приводит к образованию кавитационных пузырьков и их захлопыванию, кроме того, этот процесс усиливается за счет резонансных звуковых колебаний, определяемых частотой вращения и количеством отверстий в рабочем колесе и статоре. При этом жидкость не только прокачивается от всасывающего штуцера к напорному, но и многократно циркулирует по замкнутому контуру в верхней части корпуса. Многократное вращение жидкости по замкнутому контуру позволяет постоянно приращивать температуру. Постоянное давление в напорном штуцере обеспечивает циркуляцию жидкости в системе отопления, горячего водоснабжения и вентиляции.

Агрегат кавитационный роторный в составе с силовым пультом управления УУ-3Б и пультом автоматики УУ-А с термодатчиком, запорно-регулирующей арматурой и теплозвукоизоляционным кожухом создают тепловую установку. Техническая характеристика тепловых установок представлена в табл. 2.8.

Необходимая тепловая мощность набирается количеством установок с параллельным их включением в систему теплоснабжения. Благодаря использованию погружных электродвигателей типа ПЭДВ, тепловые установки имеют значительные преимущества при монтаже и эксплуатации по сравнению с установками других типов: принципиальное уменьшение используемой площади за счет компактности конструкции; уменьшения затрат

на сооружение больших и прочных фундаментов; герметичная конструкция без сальника, не требующая технического обслуживания; малошумная работа, позволяющая монтировать установки в подвальных помещениях или непосредственно в зданиях любого типа, в том числе жилых. Кроме этого, тепловые установки не требуют строительства длительных теплотрасс, не требуют специальной химической обработки воды, просты при монтаже и присоединении к существующим системам отопления и горячего водоснабжения.

Таблица 2.8. Технические характеристики тепловых установок

Показатели	Значения показателей для агрегата					
	АКР 3,0	АКР 5,5	АКР 7,5	АКР 11	АКР 15	АКР 20
Тепловая мощность, кВт, не менее	3,5	6,0	8,0	11,5	15,5	20,5
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	3,0	5,5	7,5	11	15	20
Температура жидкости, град. С, не более	80	80	80	80	80	80
Габариты, мм, не более высота ширина	1020 420	1065 420	1070 420	1120 450	1175 450	1200 450
Тип погружного электродвигателя	ПЭДВ-3-144	ПЭДВ-5,5-144	ПЭДВ-7,5-144	ПЭДВ-11-180	ПЭДВ-15-180	ПЭДВ-20-180
Масса, кг	94	101	111	142	153	161

Работающая установка обеспечивает не только нагрев теплоносителя, но и его подачу в систему отопления, выполняя роль циркуляционного насоса. Автоматическое управление работой установок по заданной температуре теплоносителя позволяет

эффективно использовать электроэнергию за счёт чередования рабочих и дежурных режимов.

Эффективность установки оценивается коэффициентом преобразования энергии (КОП), представляющей отношение полученной тепловой энергии к потребляемой электрической. Именно этот параметр, определяющий энергетическую, а, следовательно, и экономическую эффективность установки. Результаты испытаний тепловой установки представлены в таблице 15.

Таблица 2.9. Результаты испытаний тепловой установки

Способ учета потребленной электроэнергии	Значение * КОП в сериях опытов		
	1	2	3
С помощью электросчетчика	1,0	0,95	1,1
По мощности электродвигателя и продолжительности опыта	1,05	0,975	1,15

*\* - без учета теплопотерь в окружающую среду*

Результаты испытаний подтверждают высокую эффективность тепловой установки [98].

## Выводы по главе 2

Использование погружных электронасосных агрегатов связано со значительными затратами энергии и ресурсов, поэтому правильный выбор погружного насоса является важнейшей технологической и инженерной задачей [48].

Номенклатура выпускаемых отечественной промышленностью погружных насосов позволяет сделать выбор наиболее экономичного агрегата для водоснабжения конкретных объектов животноводства, в соответствии с характеристиками источника.

Промышленные предприятия Республики Беларусь производят насосы очень широкой гаммы. Ведущим производителем является «Завод Промбурвод», который обеспечивает погружными насосами: по диаметру обсадной колонны от 100 до 300 мм; по производительности от 1,0 до 375 м<sup>3</sup> /ч, по напору - от 20 до 400 метров.

Приведенный анализ конструкции погружных насосов дает возможность эффективно с высокой надежностью осуществлять эксплуатацию и ремонт используемого оборудования.

Важнейшим аспектом эффективного использования погружных насосов является правильный выбор и агрегатирование электродвигателя. Приведенный анализ конструкции применяемых электрических двигателей обеспечивает многовариантность компоновки агрегата, что в свою очередь дает возможность сократить потребление энергии и ресурсов, а также повысить надежность работы систем водоснабжения.

Приведенный теоретический анализ процессов в центробежном насосе является основой для выполнения инженерных расчетов, выбора параметров и построения характеристик погружного агрегата. Предлагаемые графические методы профилирования элементов ступени насоса позволяют оптимизировать форму рабочего колеса и лопаточного отвода.

Использование бустерных агрегатов позволяет существенно улучшить характеристики системы и снизить потребление энергии на создание и поддержание необходимого напора.

Применение тепловых установок надежно обеспечивает параллельное решение задач как нагрева воды, так и ее циркуляции по технологическому контуру.

## Глава 3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

### 3.1. Подбор и подготовка к монтажу погружных электронасосных агрегатов

Правильный подбор при эксплуатации электронасосного агрегата в значительной мере влияет на эффективность и надежность его работы, и на экономичность работы скважины [4].

Электронасосный агрегат подбирается по трем параметрам скважины:

- диаметру обсадной колонны;
- дебиту (производительности);
- динамическому уровню.

Перед подбором электронасосного агрегата необходимо ознакомиться с паспортными данными на скважину, агрегат, станцию управления и защиты, и другие комплектующие узлы и детали. При этом следует обратить внимание на диаметр скважины, сопоставляя его с габаритами электронасосного агрегата [17]. В табл. 3.1 представлены основные параметры электронасосных агрегатов и скважин.

Табл. 3.1. Основные параметры электронасосных агрегатов и скважин

Диаметр скважины, дюймы	4"	5"	6"	8"	10"
Внутренний диаметр скважины, мм	100,1	123,2	149,5	199,0	249,2
Диаметр агрегата, мм	96	120	144	180	235
Диапазон подач насоса, м <sup>3</sup> /ч	1-4	4-15	4-35	10-90	45-320
Диапазон напоров, м	25-230	25-250	25-350	15-400	20-325

Нормальная работа электродвигателя возможна только при интенсивном принудительном охлаждении наружной поверхности перекачиваемой водой [5]. Скорость обмывания корпуса электродвигателя - не менее 0,1 м/с, в зависимости от мощности, и обеспечивается правильной установкой электронасосного агрегата в скважине.

Выпуск электронасосных агрегатов базируется на широком поле характеристик, представленных в главе 2, рис. 2.1, и широком диапазоне мощностей большого ряда электродвигателей, которые представлены в главе 2, табл. 2.5. Это дает возможность при проектировании произвести оптимальный подбор и в эксплуатации использовать полную полезную загрузку, и, тем самым, экономить электроэнергию, а также оптимизировать расход материалов для изготовления погружных электронасосных агрегатов.

На экономические показатели скважины значительно влияют диаметры погружных электронасосных агрегатов, которые определяются:

- минимально допустимым зазором с внутренним диаметром обсадных труб скважины, в котором должны быть необходимые скорости движения воды для охлаждения электродвигателя;
- наличием номенклатуры диаметров обсадных труб;
- зависимостью коэффициента полезного действия электронасосного агрегата от его диаметра.

Производительность или дебит скважин зависит от коэффициента фильтрации, водопроницаемости водоносного пласта, условий его питания и разгрузки, а также конструктивных особенностей, параметров самих скважин.

Дебит скважины должен быть постоянным и на 15...20% выше выбранной подачи электронасосного агрегата, находящегося в рабочем интервале. Увеличенный отбор воды из скважины электронасосным агрегатом повышает входные скорости воды в зоне фильтра, и может вызвать вынос песка из прифильтровой зоны и преждевременный выход из строя фильтра скважины и электронасосного агрегата.

В паспорте скважины должны содержаться результаты откачки воды с указанием всех параметров. Схематическое изображение уровней воды в скважине приведено на рис. 3.1.

Понижение уровня  $S$ , равное разности между статическим и динамическим уровнями воды при установившемся режиме работы электронасосного агрегата, в напорном водоносном пласте рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{Q}{2\pi \cdot km} \ln \frac{R}{r_c}, \quad (3.1)$$

где  $Q$ -дебит скважины;  
 $km$ -водопроницаемость ( $k$ -коэффициент фильтрации пласта,  $m$ -его мощность);  
 $R$ - радиус влияния скважины или характеристика скважины;  
 $r_c$ - радиус скважины.

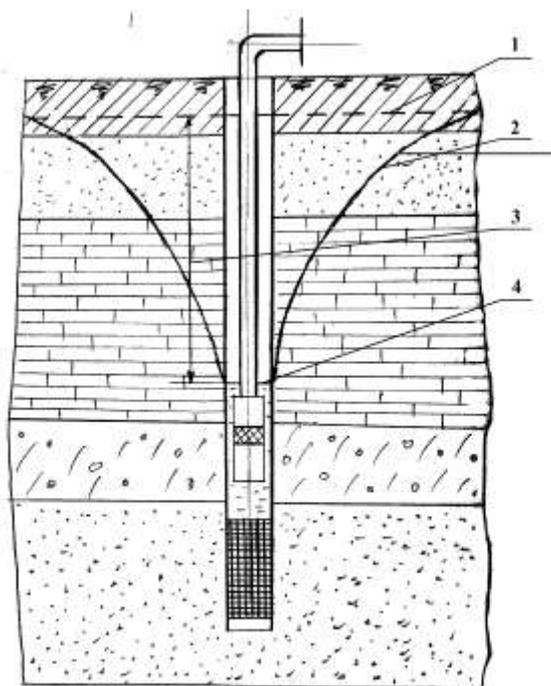


Рис. 3.1. Схематическое изображение уровней воды в скважине  
 1 – статический уровень воды; 2 – характеристика скважины;  
 3 – понижение уровня воды в скважине; 4 – динамический уровень воды

Удельный дебит скважины равен ее производительности, отнесенной к понижению уровня. Он оценивается по зависимости

$$q = 2\pi \cdot km / (\ln R / r_c + \zeta). \quad (3.2)$$

Удельный дебит зависит как от фильтрационных свойств пород (водопроницаемости), так и от сопротивления призаборной зоны фильтра  $\zeta$ , то есть является комплексной характеристикой пласта и скважины. Величина  $q$ - достаточно эффективный показатель в том случае, если водопроницаемость пласта и его геометрические свойства не изменяются во времени [39]. Для получения сопоставимых данных об удельном дебите скважин опробование откачкой необходимо производить при одинаковом понижении уровня.

По результатам опытной откачки и параметров удельного дебита определяют глубину до динамического уровня. Электронасосный агрегат монтируется на глубину так, чтобы головка насоса находилась на один метр ниже динамического уровня [18]. Это связано с тем, чтобы избежать работы электронасосного агрегата в «сухом» ходе. Большая нагрузка агрегата приводит к увеличению напора, а, следовательно, и повышенные затраты на электроэнергию. Зная глубину погружения электронасосного агрегата, подготавливают соответствующее количество водоподъемных труб со стальными муфтами или фланцами.

Кроме этого, для правильного подбора электронасосного агрегата, необходимо подсчитать оптимальный напор  $H_o$  по схеме рис. 3.2. Он складывается из глубины до динамического уровня, потерь напора в трубах и потребного напора от устья скважины до верхнего уровня воды в резервуаре и определяется формулой

$$H_o = H_o + \Pi + h_d + \Sigma h_i + \Delta H, \quad (3.3)$$

где  $H_o$ – глубина до динамического уровня, м;

$\Sigma h_i$ - потери напора в водоподъемных и сетевых трубах, м;

$\Pi$  - подпор равный одному метру для насосов производительностью до 100 м<sup>3</sup>/ч и двум метрам для насосов более 100 м<sup>3</sup>/ч;

$h_d$  - потери давления при обтекании электродвигателя электронасосного агрегата, м;

$\Delta H$ - потребный напор воды от устья скважины до верхнего уровня воды в резервуаре, м.

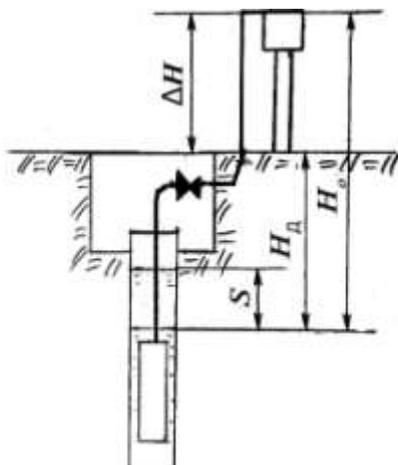


Рис.3.2. Схема расчета оптимального напора

Потери давления при обтекании электродвигателя рассчитываются по формуле

$$h_d = \left( 0,09 \frac{l_d (D_0 + D_H)}{D_0 D_H} + 0,4 \right) \left( \frac{0,082 Q^2}{D_0^2 - D_H^2} \right), \quad (3.4)$$

где  $l_d$  - длина электродвигателя электронасосного агрегата, м;  
 $D_0$  и  $D_H$  - диаметры соответственно обсадной трубы и погружного электронасосного агрегата, м.

При подаче воды прямо в водопроводную сеть до верхнего этажа жилого дома напор подсчитывают с учетом разницы абсолютных отметок, потребного напора при изливе в наивысшей точке подачи воды и потерь напора в водопроводе.

Подключение электродвигателя и пуск его в работу производится только через станцию управления. При этом необходимо произвести подбор сечения токоподводящего кабеля в зависимости от тока электродвигателя и длины кабеля от электродвигателя до станции управления и защиты. Сечение кабеля определяется по диаграмме в соответствии с рис. 3.3. Для кабеля следует использовать только провод ВПП или ВПВ соответствующего сечения.

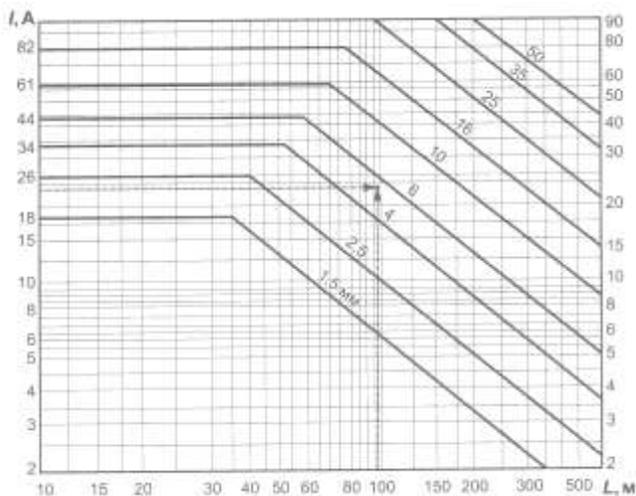


Рис.3.3. Диаграмма подбора сечения токоподводящего кабеля с поливинилхлоридной изоляцией и медными жилами

*Например:* для электродвигателя ПЭДВ 11-180 при номинальном токе 24 А и длине кабеля 97 м выбирают кабель сечением 6 мм<sup>2</sup> в соответствии с рис.3.3. Длина кабеля складывается из глубины установки агрегата в скважине и расстояния до станции управления и защиты.

Перед монтажом необходимо убедиться в исправности размещенной в станции управления аппаратуры, удалить консервирующую смазку и тщательно протереть контакты. Необходимо также проверить затяжку всех болтов и гаек как крепежных, так и контактных. Сопротивление изоляции станции проверяется мегомметром и должно быть не ниже установленного инструкцией.

При подготовке агрегата к работе необходимо:

- проверить внешнее состояние электронасосного агрегата, станции управления и защиты и других комплектующих изделий;
- проверить затяжку болтов и гаек при необходимости подтянуть;
- проверить легкость проворачивания ротора агрегата с помощью отвертки, вставляемой в паз вала насоса со стороны головки;

ки. При этом необходимо повернуть клапан и вставить отвертку. Категорически запрещается снимать обратный клапан с насоса. Это приводит к перегрузке электронасосного агрегата во время его повторного запуска;

- произвести двукратное заполнение и слив воды из негерметичного или из герметичного незаполненного электродвигателя для его расконсервации;

- закрыть сливное отверстие пробкой и залить негерметичный электродвигатель водой. Заполнение производить до появления воды из заливного отверстия расположенного в верхней части электродвигателя и закрыто пробкой-фильтром. Если в сливном и заливном отверстиях установлена пробка-фильтр, то полость электродвигателя заполняется при погружении его в воду;

- герметичный электродвигатель заполнить смесью сырого глицерина по ГОСТ 6823-77 и питьевой воды в соотношении 1:1. Заполнение произвести до появления смеси из заливного отверстия, расположенного в верхней части электродвигателя. Отверстие закрыть пробкой;

- по истечении одного часа проверить сопротивление изоляции обмотки электродвигателя относительно корпуса, заполненного водой. Сопротивление изоляции в практически холодном состоянии должно быть не менее 10 МОм;

- подсоединить токоподводящий кабель к выводам электродвигателя соединительными гильзами путем опрессовки, пайки или скруткой с последующей пайкой или сваркой скрутки;

- места соединения изолировать поливинилхлоридной электроизоляционной лентой, накладывая ее в полнахлеста до получения диаметра, равного диаметру кабеля, после чего дополнительно изолировать на длине 150 мм шестью слоями в полнахлеста. Изолирование производить с натяжением ленты, добиваясь плотного прилегания слоев;

- проверить сопротивление изоляции мест соединений и токоподводящего кабеля после выдержки в воде не менее одного часа. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм;

## 3.2. Монтаж погружных электронасосных агрегатов

После окончания подготовительных работ приступают к монтажу электронасосного агрегата. Монтаж электронасосного агрегата, как и подготовка скважины, должен производиться специализированными организациями.

Головка насоса и первая водоподъемная труба должны иметь резьбу, размеры которой представлены в табл. 3.2. Размеры фланцевых соединений для насосов ЭЦВ8 и ЭЦВ10 приведены на рис. 3.4. Размеры резьбы Сп приведены на рис. 3.5 и в табл. 3.3. Размеры резьбы Рр приведены на рис. 3.6 и в табл. 3.4.

Таблица 3.2. Присоединительные размеры насосов к водоподъемной трубе

Тип электронасосного агрегата	Условное обозначение резьбы
ЭЦВ4	Rp1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> (G1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> -A)
ЭЦВ5, ЭЦВ6	Сп60 или Rp2 (G2-A)
ЭЦВ8-16, ЭЦВ8-25, ЭЦВ8-40	Сп89 или Rp3 (G3-A)
ЭЦВ8-65, ЭЦВ10	Сп114 или фланцевое соединение

Агрегат приподнимают на такую высоту, чтобы можно было завести его в скважину, и медленно опускают до упора хомута в кромку обсадной трубы. При спуске агрегата необходимо следить за целостностью токоподводящего кабеля и не допускать его провисания при креплении к колонне водоподъемных труб. Кабель через каждые два метра крепится к трубам поясами или скобами. В местах крепления кабель следует обернуть резиновой или изоляционной лентой. Чрезмерная затяжка скоб не допускается.

Следующую трубу поднимают за монтажный хомут, который укреплен под ее муфтой или фланцем до вертикального положения и осторожно опускают до соприкосновения с муфтой или фланцем предыдущей трубы. После соединения труб приподнимают собранную часть агрегата, снимают нижний монтажный хомут и продолжают спуск агрегата в скважину. При этом производят крепление кабеля к трубе через указанный интервал, не допуская провисания и повреждений кабеля. Колонна водоподъемных труб наращивается до тех пор, пока насос не



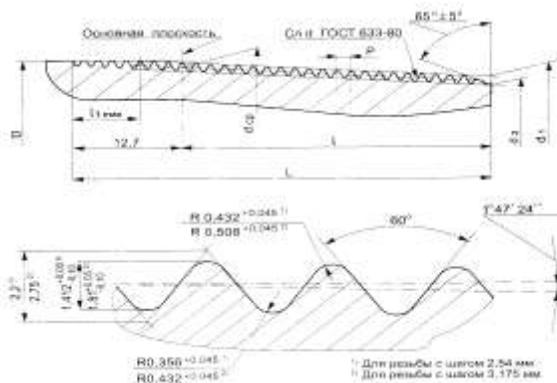


Рис. 3.5. Размеры резьбы Сп

Таблица 3.3. Размеры резьбы Сп (мм) в головке насоса

Условное обозначение резьбы (условный диаметр трубы), d	Наружный диаметр трубы, D	Шаг резьбы, P	Средний диаметр резьбы в основной плоскости, d <sub>ср</sub>	Конусность резьбы	Диаметр трубы в плоскости торца трубы		Длина резьбы		
					Наружный, d <sub>1</sub>	Внутренний, d <sub>2</sub>	Общая (до конца сбега), L	До основной плоскости (с полным профилем), l	Сбег, d <sub>1</sub> max
Сп 60	60,3	2,54	58,989	1:16	58,494	55,67	42	29,3	8
Сп 73	73	2,54	71,689		70,506	67,682	53	40,3	
Сп 89	88,9	2,54	87,564		85,944	83,12	60	47,3	
Сп 114	114,3	3,175	112,566		111,031	107,411	65	52,3	

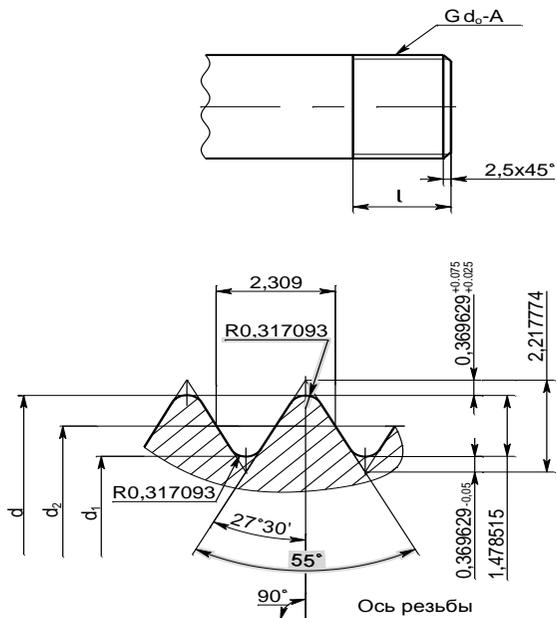


Рис. 3.6. Размеры резьбы Rp

Таблица 3.4. Размеры резьбы Rp (мм) в головке насоса

Обозначение размера резьбы, $d_0$	Число шагов на длине 25,4 мм	Диаметры резьбы в основной плоскости			Длина резьбы	
		$d$	$d_2$	$d_1$	$l_1$	$l_2$
$1\frac{1}{4}$	11	41,910	$40,431 \begin{smallmatrix} +0,089 \\ -0,045 \end{smallmatrix}$	38,952	19,1	$12,7 \pm 2,3$
2		59,614	$58,135 \begin{smallmatrix} +0,111 \\ -0,056 \end{smallmatrix}$	56,656	23,4	$15,9 \pm 2,3$
3		87,884	$86,405 \begin{smallmatrix} +0,144 \\ -0,073 \end{smallmatrix}$	84,926	29,8	$20,6 \pm 3,5$

Магистральный трубопровод задвижкой присоединится к опорному отводу оголовка. В водоразборном баке для автоматизации работы водоподъемной установки монтируется датчик уровня. Манометр обычно устанавливается на трубке, ввернутой в отводной патрубков оголовка [66].

Станция управления и защиты устанавливается в насосном помещении, а при его отсутствии - в закрытом помещении, в непосредственной близости от скважины. Станцию управления и защиты закрепляют в вертикальном положении в предусмотренном месте и заземляют ее корпус. Провода внешних соединений подводятся через отверстия в крышке и подсоединяются согласно принципиальной схеме. По окончании монтажа из шкафа станции удаляют все посторонние предметы, проверяют, нет ли повреждения и загрязнения деталей.

Закончив в указанной последовательности все работы, приступают к пробному пуску водоподъемной установки.

Электронасосный агрегат монтируется на глубину так, чтобы головка насоса находилась на один метр ниже динамического уровня, а минимальное расстояние от днища электродвигателя до фильтра скважины должно быть также не менее одного метра. При расположении электронасосного агрегата на участке фильтра возможен вынос песка и крупных фракций из фильтровой части, вследствие увеличения скорости воды в суженном агрегатом сечении скважины, что может привести, к преждевременному выходу из строя агрегата

### **3.3. Эксплуатация погружных электронасосных агрегатов**

Эксплуатация водоподъемного оборудования должна осуществляться квалифицированным персоналом, прошедшим специальное обучение и утвержденного руководителем предприятия. Ремонт и техническое обслуживание скважин и водоподъемного оборудования производят специализированные бригады. Во время эксплуатации и технического обслуживания необходимо соблюдать меры безопасности, руководствуясь положениями, изложенными в «Правилах устройства электроустановок потребителей» (ПУЭ), «Правилах технической эксплуатации электро-

установок потребителей» (ПТЭ), «Правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТБ), «Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» и специальных инструкциях на проведение монтажных и демонтажных работ.

Перед подготовкой агрегата к работе необходимо ознакомиться с паспортами электронасосного агрегата, скважины, станции управления и защиты. Необходимо проверить соответствие технической характеристики электронасосного агрегата по напору и подаче, условиям его работы в данной скважине, току и мощности, данным станции управления и защиты.

Пробный пуск и выход на рабочий режим должны производиться через систему управления и защиты при приоткрытой на 10...12 % задвижке. При пуске необходимо определить правильное направление вращения. Включив агрегат в работу, необходимо наблюдать за напором (подачей) в течение нескольких минут, затем выключить его, поменять местами две фазы и вновь включить, наблюдая за напором. Правильному направлению вращения соответствует больший напор. Следует в течение первых 30 минут работать с подачей, соответствующей 30...50 % от номинальной. В течение пяти минут агрегат должен работать на слив для проведения его расконсервации.

Вывести агрегат на рабочий режим необходимо при помощи регулирования задвижки. Величину давления, которую необходимо установить на манометре, определяют по формуле

$$P_m = 0,1 [H_a - (H_d + H_{вк})], \quad (3.5)$$

где  $P_m$  – показания манометра, кгс/см<sup>2</sup>;

0,1 – коэффициент приведения в соответствие величин напора и давления (1 м = 0,1 кгс/см<sup>2</sup>);

$H_a$  – напор агрегата, соответствующий выбранной подаче, м;

$H_d$  – динамический уровень воды при выбранной подаче, м;

$H_{вк}$  – потери напора в водоподъемной колонне, которые зависят от качества труб, их длины и условного прохода, м.

*Например:* электронасосный агрегат ЭЦВ-8-25-110 работает в скважине с динамическим уровнем 48 метров, задвижку следует отрегулировать так, чтобы манометр на напорном трубопро-

воде показывал давление 0,6 МПа. Данное давление на манометре соответствует номинальному режиму работы электронасосного агрегата, с достаточной точностью.

При появлении в пробах откачиваемой воды механических примесей необходимо уменьшить подачу до величины, находящейся в зоне нижнего предела рабочего интервала. Если при этом количество механических примесей не уменьшается, необходимо, найти причину их появления и устранить. Убедившись, что агрегат работает нормально, отсутствуют вибрация водоподъемной колонны и колебания показаний приборов, перевести его в автоматический режим работы.

В процессе эксплуатации агрегата нужно следить за показаниями приборов станции управления и защиты. Колебания показаний приборов, срабатывание станции управления и защиты, а также вибрация водоподъемной колонны характеризуют ненормальную работу агрегата. В этом случае необходимо остановить агрегат и устранить неисправности. Перечень возможных неисправностей в процессе эксплуатации агрегата и способы их устранения приведены в инструкциях по эксплуатации.

При пуске высокопроизводительного агрегата задвижка на напорном трубопроводе должна быть закрыта. Убедившись, что агрегат работает нормально, необходимо постепенно, открывая задвижку, установить его в номинальный режим работы по подаче и напору. Следует иметь в виду, что при отклонении режима работы электронасосного агрегата от номинального, изменяются все его характеристики, что приводит к различным последствиям.

Для остановки насоса, закрывают задвижку на напорном трубопроводе, после чего выключают электродвигатель.

Исследования пусковых режимов работы скважины с погружными электронасосными агрегатами показали, что при пуске агрегата в скважине наблюдаются сложные гидродинамические явления, связанные с гидравлическим ударом, колебаниями расхода и давления в верхней части фильтра.

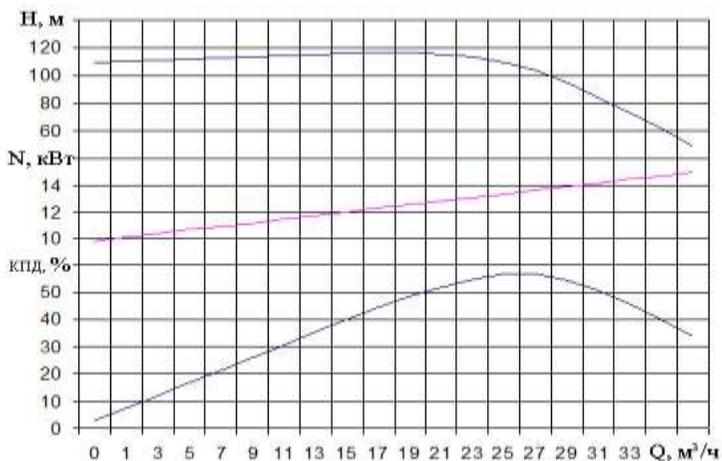


Рис. 3.7. Напорная и энергетическая характеристики электронасосного агрегата ЭЦВ8-25-110 ПЭДВ11-180:

$H$  - напор, м;  $N$  - мощность, кВт;  $\eta$  - коэффициент полезного действия, %;  $Q$  - расход воды, м³/час.

Пуск электронасосного агрегата на закрытую задвижку частично устраняет эти явления. Плавный пуск погружных электронасосных агрегатов полностью устраняет эти явления.

Для примера рассмотрим характеристику электронасосного агрегата ЭЦВ8-25-110, представленную на рис. 3.7. Дроссельным регулированием можно менять все характеристики агрегата. При закрытой задвижке подача насоса  $Q = 0$ , насос создает лишь давление воды в напорном трубопроводе порядка 1,3 МПа, при этом потребляет мощность от сети всего 5 кВт (46 % номинальной). Коэффициент полезного действия  $\eta = 0$  (вода не поступает). При открытии задвижки вода поступает потребителю, равномерно растут подача, потребляемая мощность и коэффициент полезного действия, а напор начинает снижаться. При достижении номинального режима коэффициент полезного действия имеет максимальное значение, а величины подачи и напора соответствуют числам типоразмера (25 и 110) или достаточно близки к ним. В результате дальнейшего открытия задвижки насос начинает работать в аварийном режиме, который характеризуется значительным снижением напора, повышенной подачей

воды и повышенной потребляемой мощностью. При этом увеличивается потребление электродвигателем тока и, за счет этого, происходит излишний нагрев статорной обмотки. Если защита станции управления отрегулирована правильно, то, при увеличении силы тока сверх допустимых пределов, электронасосный агрегат будет автоматически отключен от сети. Если настройка неправильная или защита отсутствует, электродвигатель может выйти из строя.

Повышенная подача воды свидетельствует об излишних нагрузках на узлы электронасосного агрегата, и особенно на рабочие колеса насоса, что резко снижает надежность агрегата и сокращает срок его службы. Кроме того, это может отрицательно влиять на работу скважины. Поэтому, при эксплуатации электронасосных агрегатов, особенно высоконапорных, необходимо следить за режимом его работы.

Напор, подачу, коэффициент полезного действия и мощность электронасосного агрегата находят по их характеристикам. Все перечисленные параметры взаимосвязаны. Так, с увеличением высоты нагнетания, подача центробежного электронасосного агрегата уменьшается, изменяются коэффициент полезного действия и мощность.

При значительных превышениях напора уменьшение его дросселированием невыгодно, так как связано с непроизводительными затратами энергии. Рациональный способ регулирования центробежных погружных электронасосных агрегатов — преобразование характеристик за счет изменения частоты вращения или диаметра рабочего колеса (обточка).

Обмотка статора погружного электродвигателя выполнена проводом в эмалевой и полимерной изоляции, допускающей длительную работу в воде, но не стойкой к перегреву. Поэтому очень опасны для электродвигателя токовые перегрузки. Нагрев обмоток растет пропорционально квадрату тока, т.е. при номинальном токе наблюдается нормальный нагрев, при перегрузке на 20% нагрев уже будет превышать нормальный в 1,44 раза. При 6-кратной перегрузке (пусковой ток) нагрев превышает нормальный в 36 раз.

Как известно, любой аварийный режим сопровождается увеличением тока, протекающего через обмотки. Например, при

заклинивании ротора ток возрастает в 6...7 раз, при обрете фаз - в 4...6 раз, снижении напряжения в питающей линии до 340 В - в 1,2...1,5 раза. Соответственно нагрев обмоток превышает нормальный в 36...49 раз, 16...36 и 1,44...2,25 раза. Если аварийный режим держится достаточно долго, то через 1...2 минуты при больших перегрузках и 10...30 минут при небольших перегрузках, изоляция провода размягчается и начинает сползать с медной жилы. Когда оголяется медь провода, возникает контакт через воду на корпус и обмотка окончательно выходит из строя. Электродвигатель надо отправлять в капитальный ремонт [36].

Таким образом, наиболее мягкий пуск обеспечивает режим частотного регулирования. Пусковой ток при этом не превышает номинальный. Наиболее жесткий пуск происходит при прямом включении в сеть, когда пусковой ток достигает величины  $I_{\Pi} = (5...7) I_{\text{н}}$ . Пуск регулируемым напряжением занимает промежуточное положение, и пусковой ток достигает  $I_{\Pi} = 2 I_{\text{н}}$ .

В связи с этим при эксплуатации электронасосных агрегатов запрещается:

- производить многократные повторные запуски агрегата. Интервал между пусками должен быть не менее 15 мин. Количество пусков в течение часа должно быть не более трех;
- производить запуск электронасосного агрегата, электродвигатель которого не залит водой. Включение в работу не заполненного водой и не погруженного в воду агрегата приводит к неминуемой аварии из-за выхода из строя подшипников, которые омываются водой;
- работа электронасосного агрегата в режиме пескования. Содержание механических примесей в откачиваемой воде не должно быть более 0,01 % по массе;
- производить запуск при напряжении сети выше 10 % и ниже 5 % от номинального напряжения 400 В. При запуске напряжение в сети не должно снижаться ниже 300 В;
- производить длительную работу агрегата при закрытой задвижке, т.к. это приводит к недопустимому нагреву воды в насосе и электродвигателе;
- производить откачку вода при обнаружении в ней пузырьков воздуха в связи с тем, что повысился динамический уровень;

- эксплуатировать электронасосный агрегат, если сопротивление изоляции системы кабель-двигатель менее 0,5 МОм;
- оставлять скважину и оборудование без надзора.

В результате пескования водозаборных скважин возникает серьезная опасность интенсивного абразивного износа трущихся поверхностей погружных электронасосных агрегатов и, как следствие, быстрый выход их из строя. Особенно это касается скважин без фильтра в рыхлых породах, где наиболее часто происходят процессы выноса песка из каверны [51].

Для защиты погружных электронасосных агрегатов от процессов пескования в бесфильтровых скважинах были предложены конструкции фильтрующих устройств, задерживающих песок, устанавливаемых перед агрегатом с помощью беструбной подвески [30].

Многими исследователями было предложено использовать для защиты погружных электронасосных агрегатов от пескования гидроциклоны [73], которые устанавливаются перед погружными электронасосными агрегатами. В гидроциклоне происходит разделение воды и песка, очищенная вода поступает в насос, а песчаная пульпа с помощью водоструйного насоса идет в обход погружного агрегата. Авторами [62] разработан целый ряд конструкций гидроциклонных камер.

Американской компанией «Lakos» для этих целей разработано 16 модификаций гидравлических сепараторов, в основе которых, как и в гидроциклонных установках, положен центробежный способ разделения песка и воды [3].

Устройство, предложенное авторами [26] состоит из трубчатого корпуса, в котором располагаются следующие основные функциональные элементы: приемная камера, зона разделения воды и песка, зона осаждения и отвода песка, зона накопления и удаления песка. Приемная камера имеет входные прямоугольные каналы, разделенные перегородкой. Внутри по центру приемной камеры установлена сливная труба.

В зоне разделения воды и песка расположен дисковый отражатель, ниже которого установлен выпрямитель потока в виде вертикально расположенных пластин. Данное устройство было изготовлено на ОАО «Завод Промбурвод», успешно прошло испытания на объектах республики.

На городских водозаборах, крупных животноводческих комплексах, а также на объектах орошения эксплуатируются несколько скважин, подающих воду, соответственно в один резервуар и накопительный бассейн. Как правило, снабжение электроэнергией осуществляется от трансформаторной подстанции, расположенной в непосредственной близости от группы скважин. Трансформаторная подстанция в свою очередь подключена к высоковольтной линии электропередач, в этих условиях автоматика должна работать весьма надежно.

При подключении всех электронасосов к одной трансформаторной подстанции, когда их мощность составляет 70...60 % мощности трансформаторной подстанции, необходимо обеспечить поочередное включение электронасосов, чтобы не перегрузить трансформаторную подстанцию одновременно действующими пусковыми токами. Поочередное включение с интервалом в 2...10 с в автоматическом режиме достигается в станциях управления и защиты «Сигнал». Для станций управления, у которых отсутствует система селективного запуска, можно рекомендовать подключение к отдельным датчикам уровней, расположенным на разной высоте, различающейся на 1...5 см.

### **3.5. Автоматизация работы электронасосных агрегатов**

Одной из основных причин подъема насосных установок из скважин являются отказы погружных двигателей в результате пробоя изоляции статорных обмоток и выводных концов установочного провода [86].

Пробой изоляции происходит в основном по двум причинам:

- снижение электрической прочности изоляции вследствие разогрева обмоток двигателя при повышенных потерях в меди и стали двигателя, возникновение нештатных режимов работы (например, обрыв фазы);
- возникновение перенапряжений, имеющих различную физическую природу в питающей сети погружного двигателя.

При построении систем управления двигателями необходимо помнить, что источником перенапряжений является и сам двигатель, поэтому необходимо ограничивать амплитудные зна-

чения перенапряжений на зажимах самого двигателя или питающего его кабеля. Повышение температуры обмоток двигателей, приводящее к пробое изоляции, может быть вызвано увеличением фазных токов, ухудшением условий охлаждения двигателей. Особенно значительное увеличение токов происходит при резком восстановлении питающего напряжения до номинальной величины. Токи в этом случае могут достигать пусковых значений.

Для надежной защиты двигателей от перегрузок необходимо устанавливать индивидуальную защиту на каждый двигатель, при этом характеристики защиты должны полностью согласовываться перегрузочными характеристиками погружных двигателей во всем диапазоне токов от  $I_n$  до  $I_{пуск}$ . При этом время – токовая характеристика защиты должна совпадать или располагаться в непосредственной близости от перегрузочной характеристики двигателя [59].

Повышение температуры обмоток двигателя может быть вызвано также в случае срыва подачи воды. При этом потребляемая двигателем активная мощность может значительно уменьшиться, но суммарный ток двигателя изменится незначительно (вследствие большого реактивного тока), это и приводит к повышению температуры двигателя. Аналогичное явление происходит при засорении трубопроводов или фильтров. Поэтому имеется необходимость установки защиты от срыва подачи или перекрытия трубопроводов.

Эффект режима “сухого” хода возникает и при чередовании фаз, так как при этом ротор двигателя начинает вращаться в обратную сторону и, при наличии в системе обратного клапана, насос обезвоживается. Из сказанного следует необходимость введения защит, которые срабатывают при:

- недопустимых изменениях и колебаниях сети;
- перекосе фаз;
- обрыве фаз питающего напряжения;
- неправильном чередовании фаз;
- срыве напора;
- перегрузке (время – токовая);
- превышении максимально допустимых токов;
- обрыве фаз нагрузки (двигателя насоса);

- импульсных перенапряжениях.

Первые четыре типа защит логично объединить в одном блоке, контролирующем входное напряжение. Защиты по трем последним пунктам можно объединить в блок токовых защит.

Так как защита от срыва напора основана на изменении активных и реактивных токов, то необходимо знать фазовый сдвиг между напряжением и током, питающим двигатель. Поэтому в блоке токовых защит вводится схема определения момента перехода тока через “0”, а в блоке контроля напряжения - схема определения перехода напряжения питающей сети через “0”.

Защита от обрыва фаз питающего напряжения содержит три одиночных компаратора, порог которых задается жестко. Логические сигналы компараторов объединены и поступают на выход блока контроля.

На выходном разъеме блока контроля входных напряжений имеются также сигналы выпрямителей и порогов срабатывания защит, за исключением защиты от обрыва фаз. С вторичных обмоток трансформаторов сигналы снимаются также на схему определения правильности чередования фаз.

В блок токовых защит сигналы снимаются с трансформаторов тока, первичные обмотки которых включены в фазы входного напряжения, а вторичные нагружены резисторами и выпрямителями. С этих же обмоток сигналы поступают на амперметр, который может подключаться к любой фазе. Выпрямленные сигналы трансформаторов тока поступают на выход блока и формируют сигналы защит. Значения порогов срабатывания токовых защит регулируются в самом блоке и имеют возможность внешней подстройки. Логические сигналы компараторов и значения порогов срабатывания поступают на выход блока управления. Сигнал с одного из трансформаторов тока поступает также на схему формирования перехода через “0” выходного тока.

Выходные реаторы служат для “отсекания” схемы устройства управления и питающей сети от блока контроля изоляции. Этот блок выдает сигналы снижения сопротивления изоляции меньше 30 кОм и меньше 0,5 кОм, а также аналоговый сигнал пропорциональный текущим значениям сопротивления.

Таким образом, устройство обеспечивает надежную защиту от различных аварийных ситуаций, возникающих в процессе

работы системы водоснабжения и само защищено от внешних электромагнитных воздействий. В случае отказа электронных устройств защиты электродвигатель насоса дополнительно защищается при помощи теплового реле и автоматического выключателя.

При срабатывании любой из защит, предусмотренных в схеме управления, происходит отключение электронасосного агрегата (в случае работы прямым включением в сеть либо при работе с регулятором напряжения). Если станция укомплектована преобразователем частоты, то возможно автоматическое снижение значения регулируемого параметра без отключения насоса.

Становление и развитие современной микроэлектронной техники ведет к глубоким преобразованиям народнохозяйственной техники и технологий. Происходит не просто обновление средств контроля и автоматизации производственных процессов, но и замена устаревшей традиционной техники на новую. Пересмотр исходных положений, заложенных в основу построения технологического процесса, в том числе систем управления и автоматизации водоснабжения. Принципиально новые технические и технологические возможности, которые открывает микроэлектроника, заставляют подвергнуть анализу даже традиционные основополагающие понятия и представления, прочно укоренившиеся в профессиональном сознании специалистов.

Развитие современной микроэлектроники, применительно к задачам автоматизации производственных процессов, в сравнении с предыдущей релейно-контакторной аппаратурой, придало техническим средствам автоматики ряд существенных и важных свойств. Наиболее характерные из них:

- более высокая надежность, на 1-2 порядка превышающая надежность традиционных элементов автоматики;
- возможность выполнения разнообразных и сравнительно сложных логических и вычислительных операций, осуществление постоянной и оперативной памяти, большие возможности любого преобразования сигналов и т.д.;
- малые размеры и масса элементов, относительная простота и надежность защиты от внешних механических, атмосферных и химических воздействий;

- сравнительно низкая стоимость элементов автоматики. Это делает экономически эффективной автоматизацию таких процессов, которые традиционными средствами были бы экономически невыгодны. Принципиальное преимущество электронизации состоит именно в том, что на ее основе открываются возможности системного управления.

Рассмотрим изложенные положения применительно к конкретной задаче в области автоматизации и повышения надежности работы системы водоснабжения.

Применение устройств релейно-контакторной автоматики и схем управления в логических элементах позволило реализовать двухпозиционное регулирование уровня воды в баке или башне, защиту электродвигателя насоса от короткого замыкания, перегрузки и потери фазы, отключение с запоминанием.

Применение устройств на базе микроэлектроники и микропроцессорной техники позволяет реализовать:

- процесс плавного регулирования подачи воды и, таким образом, обеспечить постоянное поддержание требуемого параметра давления воды в системе потребителей во всех режимах суточного потребления;
- характеристики защиты, согласованные с характеристикой электродвигателя насоса, самоконтроль состояния электронасосной установки, согласованную работу нескольких электронасосных установок и др.

Такая электронизация коренным образом может изменить систему водоснабжения и улучшить технологию производственного процесса. Это переход от традиционной схемы водоснабжения (погружной электронасосный агрегат - водонапорная башня – водопровод потребитель) к автоматизированной герметизированной системе с гидроаккумулятором и прямоточным водоснабжением. В такой системе обеспечивается автоматическое оптимальное регулирование давления в зависимости от расхода воды, что повышает надежность водоснабжения, его качество и сохранность всей гидравлической части ведет к экономии энергоресурсов, требуемых для обеспечения водоснабжения. Питьевая вода сохраняется чистой, так как она совершенно изолирована от окружающей среды.

Объединение нескольких насосных станций в общую управляемую систему обеспечивает максимальную надежность водоснабжения. Функционирование такой системы обеспечивается за счет электронной автоматики. Наконец сокращается общая материалоемкость системы, упрощается ее эксплуатация и обеспечивается устойчивая работа.

Водоснабжение в настоящее время несовершенно, ему присущи низкое качество подаваемой воды и значительные потери самой воды и ресурсов, необходимых на ее подъем и подачу. В настоящее время наибольшее распространение получили две системы водоснабжения. Башенная система водоснабжения состоит из погружного насоса, расположенного в скважине и подающего воду в водонапорную башню, откуда вода поступает потребителям. Безбашенная система состоит из небольшого резервуара, куда вода поступает из скважины и далее потребителям под напором, создаваемым скважинным насосом (система с пневмогидравлическим баком) или насосом второго подъема. Последняя система позволяет создать герметизированное устройство водоснабжения, в котором вода не имеет соприкосновения с окружающей средой.

При неравномерном, случайном режиме водопотребления в период малых расходов насосы работают по времени до 60% в неэкономичных режимах с малым коэффициентом полезного действия, избыточными давлениями. Это приводит к перерасходу электроэнергии более 30%, утечкам воды до 4%, авариям в трубопроводных сетях. Чтобы избежать нерационального расхода воды и энергопотребления, необходимо согласовать подачу насоса с графиком водопотребления. Расчет и проектирование оптимальных режимов водоснабжения зависят от правильного расчета режима подачи и водоснабжения. Для водоснабжения широко применяется повторно-кратковременный режим, при котором определяющее значение имеет регулирующая емкость и периодическая работа электронасосного агрегата. При данном режиме электронасосный агрегат работает в относительно узкой области характеристики, изменяя подачу воды в достаточно широких пределах за счет частоты включения насоса.

Характерной особенностью вышеуказанных установок является то, что как водонапорная башня, так и пневмогидравличе-

ский бак в повторно-кратковременном режиме водопотребления выполняют функции автоматики. В отдельных случаях башни используются для хранения воды в противопожарных целях и при аварийном водоснабжении.

Система с водонапорной башней является одной из наиболее распространенных для сельскохозяйственного водоснабжения. Однако эти установки имеют ряд существенных недостатков. Башни имеют большую первоначальную стоимость, они громоздки, фундаменты башни строят из монолитного железобетона. При температуре воздуха ниже  $20^{\circ}\text{C}$  башни надо утеплять. Насосную станцию автоматизируют с помощью электродных датчиков, которые при подмерзании башни не работают.

В связи с этим установки с водонапорными башнями вытесняются более совершенными с пневмогидравлическими баками. Для установки не требуется строительство дорогостоящих конструкций. Нет необходимости устанавливать их на возвышении.

Пневмогидравлические баки имеют простую и надежную систему автоматики. Все оборудование сосредоточено в одном месте, занимает небольшую площадь и удобно в обслуживании. Однако и пневмогидравлические баки имеют ряд недостатков. В период пуска и остановки возникают значительные колебания давления и расхода воды в системе. В результате чего включения этих установок, обусловленные их сравнительно небольшой емкостью, увеличивают износ управляющей электрической аппаратуры.

### **3.6. Качественное регулирование оборотов электронасосных агрегатов с применением частотного преобразователя**

Регулирование оборотов электронасосных агрегатов при помощи задвижки получило наибольшее распространение в практических условиях. Дроссельное регулирование приводит к снижению коэффициента полезного действия агрегата.

Существенные преимущества имеют системы водоснабжения с регулированием частоты вращения рабочего колеса электронасосного агрегата [15]. Регулирование вращения рабочего колеса позволяет отказаться от повторно-кратковременного ре-

жима работы агрегата, тем самым, обеспечивая равномерную подачу воды в магистраль в зависимости от текущего расхода, что позволяет эксплуатировать систему без применения водонапорной башни. Равномерная подача воды значительно снижает потери давления в магистрали и скважине и, следовательно, расход электроэнергии на единицу объема поданной воды. В связи с этим, ставится задача освоения выпуска станций управления или электронасосных агрегатов, удовлетворяющих этим требованиям. При решении этой комплексной проблемы очень важно определить наиболее перспективные способы регулирования частоты вращения рабочего колеса агрегата.

Для асинхронных электродвигателей существует три принципиально возможных способа регулирования: изменение частоты питающего напряжения, изменение числа полюсов электродвигателя и изменение скольжения.

Западные европейские фирмы сегодня выпускают станции управления и электронасосные агрегаты с регулированием частоты вращения рабочего колеса.

Для определения экономической эффективности, при эксплуатации электронасосных агрегатов с регулируемым приводом, на ОАО "Завод Промбурвод" были проведены испытания агрегата ЭЦВ 6-6,3-85, ПЭДВ 4,5-140 на базе испытательного стенда, оснащенного преобразователем частоты серии ЭКТ. В ходе испытаний определялись зависимости потребляемого тока, активной мощности, энергетического коэффициента и развиваемого напора от расхода воды при питании электронасосного агрегата от промышленной сети 380 В, 50 Гц и при питании от преобразователя частоты. Характеристики измерялись при различных значениях частоты питающего тока при сохранении отношения  $U/f = \text{const}$ . Кроме того, снимались характеристики электронасосного агрегата при питании пониженным напряжением при частоте 50 Гц.

Измерения фазного напряжения, тока и активной мощности производились с помощью измерительного комплекса К505, измерение частоты производилось с помощью электронного частотомера комплекта К 2-42. Расход воды измерялся индукционным расходомером РОСТ-13, а развиваемый напор - штатным манометром измерительного стенда. Анализ полученных кри-

вых, представленных на рис. 3.8 показывает, что частотное преобразование обеспечивает эффективное регулирование напора при заданном расходе воды.

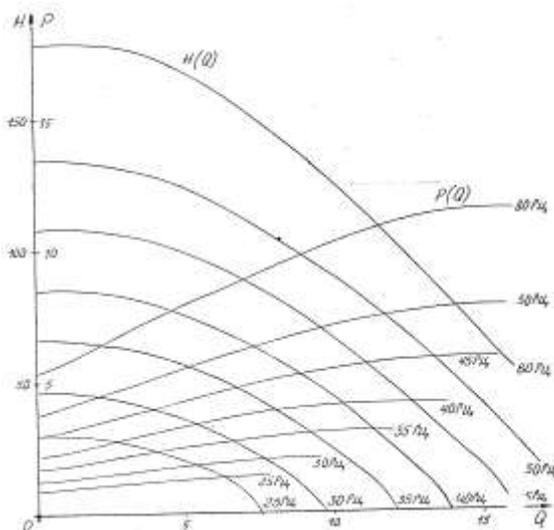


Рис. 3.8. Семейство характеристик электронасосного агрегата при частотном регулировании:  
 $H$  - напор, м;  $N$  - мощность, кВт;  $Q$  - расход воды, м<sup>3</sup>/ч

При этом зависимости напора от расхода и напора от питающей частоты близки к параболическим. Вследствие этого, поддержание требуемого напора может быть обеспечено при достаточно узком диапазоне питающих частот. Кроме того, повышение питающей частоты до 60 Гц позволяет обеспечивать форсированный режим работы электронасосного агрегата при существенно большем напоре, либо обеспечивает увеличение расхода при неизменном напоре.

При работе от сети 380 В, 50 Гц электронасосный агрегат обеспечивает напор 65 м при расходе воды 12,6 м<sup>3</sup>/ч, а при снижении расхода напор поднимается до величины 132 м. Поддержание напора на уровне 65 м при расходе 1,5 м<sup>3</sup>/ч может быть обеспечено путем снижения питающей частоты до уровня 35 Гц. Повышение питающей частоты до 60 Гц обеспечит сохранение

напора 65 м при расходе воды 15,2 м<sup>3</sup>/ч, либо повышение напора до 179 м при расходе 2 м<sup>3</sup>/ч.

Потребляемая электронасосным агрегатом мощность также существенно зависит от частоты. Так, при поддержании напора на уровне 65 м и при расходе 1,5 м<sup>3</sup>/ч потребляемая мощность при частотном регулировании составит 1,9 кВт, в то время как при питании от промышленной сети и регулировании дросселированием потребуется мощность 4,2 кВт при том же расходе воды и давлении в сети.

Зависимость энергетического коэффициента  $\cos\varphi$  от величины расхода воды  $Q$  изображена на рис. 3.9 и имеет вид монотонно возрастающей кривой.

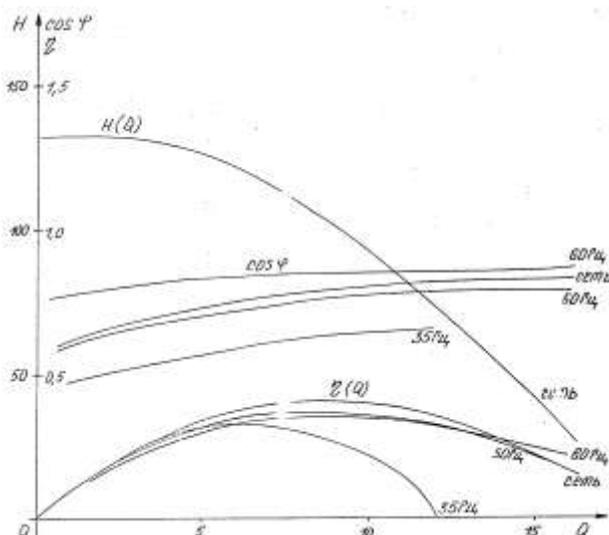


Рис. 3.9. Кривые энергетического коэффициента  $\cos\varphi$  и КПД в функции расхода воды:

$H$ - напор, м;  $\eta$  - коэффициент полезного действия;  $Q$  - расход воды, м<sup>3</sup>/час;  $\cos\varphi$  - энергетический коэффициент

При питании от сети и расходе 12,6 м<sup>3</sup>/ч и напоре 65 м энергетический коэффициент составляет 0,81. При снижении расхода его величина изменяется до уровня  $\cos\varphi = 0,75$  при  $Q = 6,3$  м<sup>3</sup>/ч и

$\cos\varphi = 0,63$  при  $Q = 1,5$  м<sup>3</sup>/ч. Коэффициент полезного действия имеет максимум в зоне средних расходов и снижается как при увеличении, так и при уменьшении расхода.

При питании от сети коэффициент полезного действия достигает максимума при расходе 9 м<sup>3</sup>/ч и составляет 0,4.

Снижение частоты питающего тока влияет как на величину энергетического коэффициента  $\cos\varphi$ , так и на коэффициент полезного действия. При этом снижение питающей частоты приводит к снижению энергетического коэффициента, что объясняется снижением потребляемой активной мощности при неизменной величине реактивных токов. Кривая коэффициента полезного действия в зоне малых расходов не зависит от частоты, в то время как в зоне больших расходов коэффициент полезного действия при снижении частоты понижается.

Характеристики электронасоса при регулировании напряжением приведены на рис. 3.10.

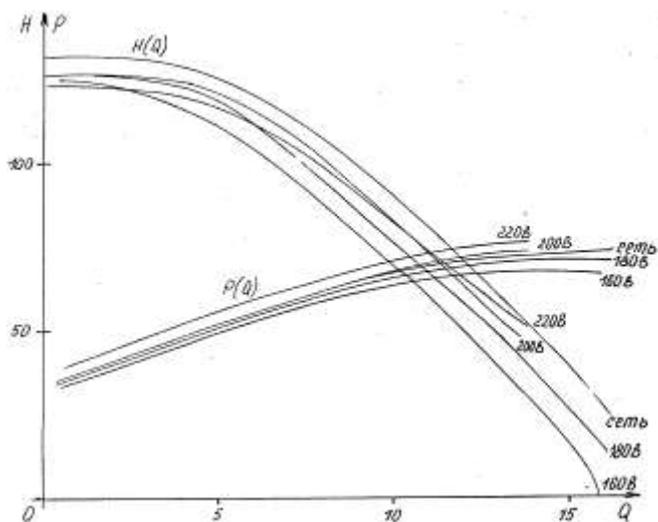


Рис. 3.10. Семейство характеристик электронасосного агрегата при регулировании напряжением:  
 $H$  - напор, м;  $N$  - мощность, кВт;  $Q$  - расход воды, м<sup>3</sup>/ч

Как видно из приведенных кривых, снижение питающего напряжения от 220 В до 160 В не приводит к существенному снижению напора и потребляемой мощности. Так, при расходе воды  $Q = 6,3 \text{ м}^3/\text{час}$  напор снижается с 119 м до 101 м, а потребляемая мощность - с 6,0 кВт до 5,4 кВт. Более глубокое регулирование связано с опасностью остановки двигателя, вследствие снижения величины максимального крутящего момента.

Кроме выше приведенных кривых, были измерены величины пусковых токов при частотном регулировании, при прямом включении в сеть и при регулировании напряжением.

Величина пускового тока при прямом включении в сеть оценивалась с помощью трансформатора тока, включенного в одну из фаз питающей сети. Вторичная обмотка трансформатора тока шунтировалась с помощью шунта 75 ШСМ-10, напряжение, на клеммах которого исследовалось с помощью осциллографа.

Такое измерение правомочно, поскольку не ставилась задача точного измерения величины пускового тока, оценивалась только кратность пускового тока по отношению к номинальному. Было установлено, что при работе электронасоса с напором 80 м величина пускового тока составляет  $I_{II} = 5 I_H$ , длительность пускового тока не превышает 100 мс, причем максимальная амплитуда тока наблюдается в течение полутора периодов сети, затем величина тока равномерно снижается до номинального. Изменение величины напора не влияет на абсолютную величину пускового тока, однако, относительная его величина изменяется за счет изменения номинального тока. Так, при работе электронасоса на закрытую задвижку напор составлял 132 м, а пусковой ток составил  $I_{II} = 7,14 I_H$ .

Запуск электронасоса при регулировании напряжением производился путем плавного повышения питающего напряжения от нуля до номинального значения при сохранении неизменной величины частоты питающего тока 50 Гц. При этом пусковой ток составил 30 А при напряжении 110 В.

В режиме частотного регулирования запуск электронасоса производился путем плавного повышения питающего напряжения от нуля до номинального значения при одновременном изменении частоты по закону  $U/f = \text{const}$ . Наиболее мягкий пуск обеспечивает режим частотного регулирования при пусковом

токе 10,4 А, напряжении 34 В и частоте 8,3 Гц. Пусковой ток при этом не превышает номинальный. Наиболее жесткий пуск происходит при прямом включении в сеть, когда пусковой ток достигает величины  $I_{п} = (5...7)I_{н}$ . Пуск регулируемым напряжением занимает промежуточное положение, и пусковой ток достигает  $I_{п} = 2 I_{н}$ .

На основании кривых потребляемой мощности, представленных на рис 3.8, построены зависимости (рис. 3.11) экономии электроэнергии при частотном регулировании по отношению к регулированию дросселированием при разной величине статического напора.

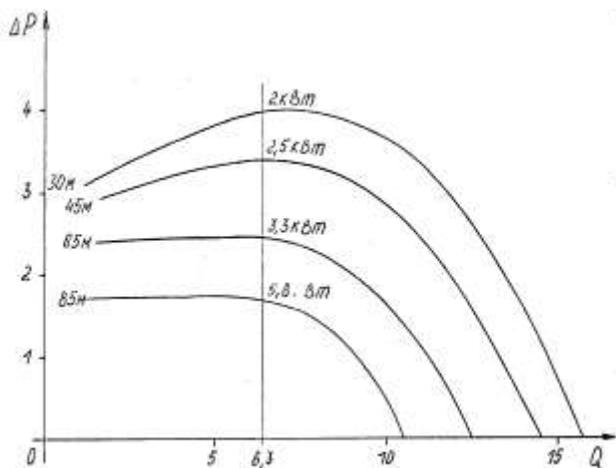


Рис. 3.11. Кривые экономии электроэнергии при частотном регулировании:

$\Delta P$ - экономия электроэнергии;  $Q$  - расход воды,  $m^3 / ч$

Как видно из приведенных кривых, экономия электроэнергии тем больше, чем меньше статический напор, т.к. в этом случае большая часть развиваемого напора гасится регулирующей задвижкой. Так, если при напоре 85 м и расходе воды 6,3  $m^3 / ч$ , потребляемая мощность при частотном регулировании составляет 5,6 кВт, а мощность, теряемая в задвижке, - 1,7 кВт, то при напоре 30 м, потребляемая мощность при частотном регулиро-

вании снижается до 2 кВт, в то время как мощность, теряемая в задвижке, составляет 4 кВт.

При снижении расхода воды величина экономии электроэнергии изменяется мало. Увеличение же расхода приводит к снижению экономии, поскольку при этом снижаются потери напора на регулирующей задвижке. Зависимости напора, потребляемой мощности, коэффициента полезного действия от расхода воды и питающего напряжения соответствуют известным из литературы нормам.

В ходе исследования полностью подтвердились выводы о неэффективности регулирования подачи воды с помощью регулятора напряжения. Диапазон регулирования напора весьма ограничен и не может обеспечить автоматическое поддержание напора на заданном уровне. Мощность, потребляемая электронасосным агрегатом при регулировании напряжением, практически не отличается от мощности, потребляемой при питании от сети. Несмотря на то, что пусковой ток при плавном нарастании напряжения существенно меньше, чем при прямом пуске, снижение пускового тока в реальных условиях едва ли может быть получено. Это связано с тем, что для надежного пуска электронасосного агрегата на первоначальном этапе к статору прикладывается полное напряжение, которое затем снижается до уровня пускового. Таким образом, регулятор напряжения может обеспечить только снижение гидравлических ударов при пуске за счет увеличения времени разгона рабочего колеса насоса. Кроме того, тиристорный регулятор с фазовым управлением, применяемый в качестве регулятора напряжения, приводит к "излучению" в питающую сеть значительного уровня высших гармоник и реактивных токов во время пуска.

Частотное регулирование, напротив, обеспечивает широкий диапазон регулирования напора во всем диапазоне расходов воды. Одновременно со снижением напора значительно снижается мощность, потребляемая электронасосным агрегатом, что позволяет получать реальную экономию электроэнергии, по сравнению с регулированием дросселированием. Частотное регулирование позволяет производить плавный пуск электронасосного агрегата при пусковых токах, не превышающих номинальный. При этом может быть обеспечено любое требуемое время разго-

на. Повышение частоты питающего тока выше промышленного, позволяет обеспечить форсированный режим работы электронасосного агрегата с повышенным напором либо расходом воды. Коэффициент полезного действия агрегата при питании от преобразователя частоты не отличается от коэффициента полезного действия при питании от сети, поскольку снижение питающей частоты производится при снижении расхода воды, где кривые коэффициента полезного действия для различных частот совпадают. Экономия электроэнергии достигается при этом за счет исключения энергетических затрат на дросселирование. Снижение потребляемого тока обеспечивает более выгодный тепловой режим обмотки статора [59].

Указанные преимущества частотного регулирования делают весьма перспективной прямоточную систему водоснабжения или построенную на базе малоемкостных пневмогидравлических баков. Частотное регулирование электронасосного агрегата позволяет исключить частые пуски агрегата, свойственные системам с малоемкостными баками. Мягкий пуск электронасосного агрегата и регулируемое время ускорения и замедления исключают гидроудары в магистрали и захват песка из скважины. Регулирование скорости вращения рабочего колеса насоса позволяет обеспечивать поддержание заданного давления при измерении расхода даже в прямоточных системах водоснабжения. При этом исключается необходимость применения регулирующей задвижки и, следовательно, избыточных энергетических затрат на дросселирование.

В конечном итоге, управление электронасосным агрегатом от частотно-регулируемого привода позволяет получать:

- представленную на рис. 3.11, 15...40% экономию электроэнергии в зависимости от суточного графика подачи воды (срок окупаемости преобразователя частоты составляет 1...3 года);
- снижение капитальных затрат на сооружение системы водоснабжения при одновременном повышении качества воды за счет применения безбашенных систем;
- повышение долговечности водоподъемного и водопроводного оборудования за счет стабилизации давления и исключения гидравлических ударов.

Регулирование числа оборотов рабочего колеса приводит к изменению характеристик агрегата, но не понижает коэффициент полезного действия.

### **3.7. Эксплуатация водозаборных скважин**

Скважины широко используют в народном хозяйстве для различных целей и по назначению они подразделяются на следующие группы.

Водозаборные скважины для отбора подземных вод при организации систем хозяйственно-питьевого назначения, реже для промышленных целей. В системах сельскохозяйственного водоснабжения, в качестве водозаборных устройств, скважины используются так же широко, как и колодцы.

Дренажные скважины используют при устройстве систем защиты от подтопления городских территорий и промышленных площадок в зонах утечек из водопроводных и канализационных сетей, на осушаемых сельскохозяйственных территориях. Основное назначение этих скважин – поддержание необходимого положения уровня подземных вод для защиты от подтопления зданий и сооружений, создания наилучших условий для выращивания сельскохозяйственных культур.

Водопонижающие скважины, как правило, имеют ограниченный срок эксплуатации и решают проблемы обеспечения строительства гидротехнических сооружений, крупных насосных станций, осушения месторождений полезных ископаемых.

Нагнетательные скважины используют для подпитывания подземных вод в районе действующих водозаборов и заполнения систем захоронения промышленных стоков в глубокие горизонты подземных вод, законтурного и внутриконтурного заводнения нефтяных месторождений.

Наблюдательные скважины применяются на крупных водозаборах для наблюдения за изменением уровней и качества подземных вод в процессе эксплуатации в региональном масштабе и во времени. Эти скважины меньшего диаметра. На водозаборах иногда переоборудуют опытные скважины, используемые

при гидрогеологических исследованиях, при разведке запасов подземных вод в наблюдательные.

Надежность работы водозаборных скважин зависит не только от качества строительно-монтажных работ, но и от того, насколько правильно эксплуатируется скважина и водоподъемное оборудование, насколько точно выдерживаются установленные режимы работы электронасосных агрегатов.

Вновь пробуренную скважину рекомендуется вводить в эксплуатацию непосредственно после окончания бурения и пробной откачки. Продолжительный разрыв между окончанием бурения скважины и вводом ее в эксплуатацию может привести к серьезным осложнениям и при последующем вводе в эксплуатацию потребовать дополнительной откачки воды из скважины. Если скважина длительное время не эксплуатировалась, то перед монтажом электронасосного агрегата необходимо провести следующие работы:

- проверить глубину скважины и очистить от осадка;
- замерить статический уровень воды в скважине;
- провести откачку воды эрлифтом или другим водоподъемником с расходом воды не менее расчетного, до полного осветления и прекращения выноса песка и шлама;
- замерить установившийся динамический уровень.

Непременным условием при сдаче вадозаборной скважины является герметизация устья оголовком. При несоблюдении этого условия скважина может быть загрязнена посторонними предметами, грунтовыми водами, стоками. Работы по очистке и восстановлению скважины, как правило, крайне трудоемки, обычно требуют больших затрат времени, средств и не всегда дают положительные результаты. Данные работы проводят специальные бригады областных предприятий «Промбурвод».

Эксплуатация скважины должна производиться с дебитом, не превышающим расчетный эксплуатационный дебит, указанный в паспорте. Надо иметь в виду, что увеличенный отбор воды из скважины по отношению к расчетному эксплуатационному, вследствие повышения входных скоростей в зоне фильтра, может вызвать вынос песка и преждевременный выход из строя скважины и электронасосного агрегата.

Скважины, эксплуатирующие водоносные горизонты, представленные песками или другими неустойчивыми породами и оборудованные сетчатыми или проволочными фильтрами, категорически запрещается пускать сразу в эксплуатацию на полную производительность. В этом случае отбор воды следует начать с 40...60% проектной производительности и постоянно увеличивать его до проектной. В начальный период на таких скважинах остановка и пуск электронасосного агрегата должны производиться по возможности реже.

Для сохранения длительной работоспособности скважин систематически наблюдают за дебитом и положением динамического уровня, качеством воды. При значительных отклонениях указанных величин ремонтируют, очищают или заменяют фильтр. Во время эксплуатации водозаборной скважины, уменьшение дебита и снижение динамического уровня часто указывают на засорение фильтра и выпадение осадка на фильтре и прифильтровой зоне. Такое явление называют кольматацией. Основным кольматантообразующим элементом в воде является железо. Кроме того, в катионном составе подземных вод преобладают кальций и магний – важнейшие ингредиенты солей жесткости в составе кольматантов.

Для восстановления производительности водозаборных скважин, снизивших дебит во время эксплуатации, применяется широкий комплекс импульсных, реагентных и импульсно-реагентных методов, которые нашли широкое применение республике. В работе [23] проведены районирование территории республики по характеру кольматации фильтров скважин и эффективные методы их регенерации, а также периодичность проведения ремонтно-восстановительных мероприятий. В основу районирования положен принцип, в соответствии с которым различные гидрогеологические условия обуславливают формирование различных по составу кольматирующих образований.

В отдельных случаях снижение дебита и динамического уровня возникает из-за истощения водоносных пластов или влияния построенных вблизи скважин, а также поглощения воды проницаемыми породами через дефекты, вызванные коррозией в обсадных трубах.

После кольматации фильтра и прифилтровой зоны вода из скважины подается электронасосным агрегатом с пузырьками воздуха и на слух слышен булькающий звук. В таких случаях необходимо вызывать специальную бригаду областного предприятия «Промбурвод».

Во время эксплуатации может произойти разрушение фильтра или обсадных труб, перекрывающих песчаные породы, которое проявляется наличием песка в воде. Если при пуске электронасосного агрегата в воде появится примесь песка или глины, необходимо пытаться прекратить пескование путем уменьшения расхода воды, регулируя его задвижкой на напорном трубопроводе. Если регулирование расхода воды положительных результатов не дало, в этом случае необходимо вызвать специальную бригаду. Если не произвести ремонтные работы, то песок не пощадит работающий электронасосный агрегат.

Чтобы ликвидировать поступление воды через дефекты обсадных труб, в скважину устанавливают эксплуатационную колонну меньшего диаметра со специальным сальником на конце. Затем кольцевой зазор цементируют. Эти работы могут выполнять только буровые организации.

### **3.8. Эксплуатация бустерных агрегатов**

Перед подготовкой агрегата к работе необходимо:

- Проверить соответствие технической характеристики агрегата по напору и подаче, условиям его работы на конкретном объекте (согласно проекту объекта), а по току и мощности — данным станции управления и защиты. Производительность по воде (подача) системы водоснабжения объекта должна быть на 15-25% больше выбранной подачи агрегата в рабочем интервале.
- Проверить внешнее состояние агрегата, наличие гарантийных пломб и комплект поставки.
- Выполнить отверстия в прокладках, установленных между фланцами напорного 4 и подводящего 5 патрубков в соответствии с рис. 2.21 и 2.22.
- Освободить двигатель, отвернув болты фиксации 6 на 2...2,5 оборота.

- Установить агрегат на фундаменте в вертикальном или горизонтальном положении и закрепить фундаментными болтами через виброизолирующие подкладки 13.
- Установить манометры 8 и 9 через трубки сильфонные при помощи штуцеров и прокладок в гнезда корпуса 1 и напорного патрубка 4. В гнездо корпуса 1 установить манометр 8 с верхним пределом измерений 0,4 МПа (4кгс/см), в гнездо патрубка 4 - манометр 9 с верхним пределом измерений 1 или 1,6МПа (10 или 16 кгс/см<sup>2</sup>) в зависимости от напора агрегата.
- Произвести расконсервацию агрегата путем не менее двукратного заполнения его водой и полного слива ее через кран 7.
- Включить агрегат в систему водоснабжения через запорную трубопроводную арматуру 7 в соответствии с рис. 26, компенсаторы 10, обратный клапан 8 на напорной магистрали и через напорно-регулирующее устройство, например, воздушно-водяной бак 3, обеспечивающий минимальную частоту включений двигателя агрегата при колебаниях водоразбора или полном отсутствии его, что в свою очередь уменьшит износ электронасосного агрегата, электрической и регулирующей аппаратуры и обеспечит надежную, бесперебойную и долговечную работу агрегата.
- При отсутствии напорно-регулирующего устройства установить в обязательном порядке на напорной магистрали электроконтактный манометр с соответствующим верхним пределом измерений вместо показывающего манометра 5, и подключить его к станции управления и защиты.
- На подводящей магистрали системы горячего водоснабжения установить термометр 12 для контроля температуры подаваемой в агрегат воды.
- Подключить агрегат к сети через станцию управления и защиты 2 в соответствии с проектом привязки агрегата к объекту. Подключение и подготовку к работе станции управления и защиты произвести в соответствии с прилагаемым к ней руководством по эксплуатации.
- Проверить подачу сигнала датчиком «сухого хода» на станцию управления и защиты, отключающую агрегат при отсутствии воды в корпусе агрегата, при этом, при включении вводного автомата станции, на панели управления станции должна появиться индикация «сухого хода».

- Заполнить агрегат водой при закрытом вентиле 7 на напорной магистрали и вывернутом автоматическом отводчике воздуха 10. При появлении воды из отверстия установить отводчик воздуха 10, обеспечив плотность соединения.
- По истечении 1 часа проверить сопротивление изоляции обмотки статора двигателя относительно корпуса агрегата, заполненного водой. Сопротивление изоляции в практически холодном состоянии должно быть не менее 10 МОм.

Пуск агрегата производится при полном его заполнении водой, при приоткрытой (на 10-12 %) запорной трубопроводной арматуре (задвижке, вентиле, кране) на напорной магистрали системы. Пуск и работа агрегата должны производиться только через станцию управления и защиты. При пуске необходимо определить правильное направление вращения. Включив агрегат в работу, наблюдают за его напором в течение нескольких минут, затем выключают его, меняют местами две фазы и вновь включают, наблюдая за напором. Правильному направлению вращения соответствует больший напор. Следует в течение первых 30 минут работать с подачей, равной 30-50 % от номинальной.

Убедившись, что агрегат работает нормально, о чем свидетельствует отсутствие вибрации, колебаний показаний приборов, наличие избыточного давления в корпусе 1 по показаниям манометра 8 в пределах от 0,002 до 0,02 МПа (от 0,02 до 0,2 кгс/см<sup>2</sup>), срабатывание станции управления и защиты, постепенно открывая задвижку (вентиль, кран), вывести агрегат на рабочий режим, а затем перевести объект в автоматический режим работы. Эффективное использование агрегата возможно только при эксплуатации его в оптимальном режиме, т.е. в рабочем интервале подач и напоров.

В процессе эксплуатации агрегата нужно следить за показаниями приборов станции управления и защиты. Колебания показаний приборов, срабатывание защиты станции, а также шум и вибрация характеризуют ненормальную работу агрегата. В этом случае необходимо остановить агрегат и устранить неисправности. Перечень возможных неисправностей бустерных агрегатов и способы их устранения приведены в заводской инструкции по эксплуатации.

### 3.9. Эксплуатация тепловых насосных установок

Перед подготовкой установки к работе в составе системы отопления или горячего водоснабжения необходимо проверить внешнее состояние установки и комплектующего оборудования; проверить затяжку болтов и гаек, при необходимости подтянуть их. Затем, необходимо произвести монтаж установки, подсоединить токоподводящий кабель через устройство управления, подсоединить подводящие и отводящие рукава тепловой установки с соответствующей запорно-регулирующей арматурой, вывернуть рым-болт. Через нижний подводящий рукав заполнить установку чистой водой с температурой не выше  $25^{\circ}\text{C}$ . Закрывать краны подводящего и отводящего рукавов. Пуск установки возможен только при полном заполнении её водой.

С помощью торцового ключа S19, накинутаго на головку болта крепления ротора, через резьбовое отверстие под рым-болт повернуть по часовой стрелке ротор электродвигателя и убедиться в легкости его вращения.

Проверить сопротивление изоляции обмоток электродвигателя относительно корпуса. Сопротивление изоляции в практически холодном состоянии должно быть не менее 10 МОм.

При пуске необходимо определить правильное направление вращения - по часовой стрелке, если смотреть сверху на крышку агрегата. Включив кратковременно установку с помощью устройства управления, определить через открытое отверстие под рым-болт направление вращения ротора. Если оно не соответствует выше указанному, поменять местами две фазы и вновь включить.

Убедившись в том, что ротор агрегата вращается в нужном направлении, заполнить его окончательно водой и завернуть рым-болт. Окончательный пуск производится при закрытых кранах подводящего и отводящего рукавов установки. После 3 минут работы установки производится замер потребляемого тока и давления воды по установленному манометру. Эти показания должны соответствовать технической характеристике данной установки.

Демонтировать установку для осмотра и ремонта необходимо при превышении тока на 25 % выше номинальной, повышен-

ном шуме и вибрации. Перед демонтажем необходимо перекрыть доступ воды в установку, отключить установку от устройства управления, слить воду через сливное отверстие, отсоединить подающий и отводящий рукава и снять с фундамента. Ремонт установки производится на специализированном предприятии. Монтаж установки осуществляется в обратном порядке.

Во время работы тепловой установки необходимо следить за показаниями приборов. В случаях резких колебаний показаний приборов, повышенном шуме и вибрации, свидетельствующих о ненормальной работе агрегата, остановить его и устранить неисправности.

Техническое обслуживание установки носит планово-предупредительный характер и состоит из комплекса работ, выполняемых с целью поддержания установки в работоспособном состоянии, предупреждения отказов и неисправностей. В комплекс работ входит плановая профилактика и текущий ремонт погружного электродвигателя и системы силового пульта управления и автоматики.

Установка работает в автоматическом режиме и не требует постоянного наблюдения обслуживающим персоналом.

Ежедневно контролируются величина потребляемого тока, показания манометра и наличие посторонних шумов и вибраций.

### **3.10. Эксплуатация систем управления и защиты электронасосными агрегатами**

При вводе станции в эксплуатацию и обслуживании необходимо соблюдать правила техники безопасности, руководствуясь положениями, изложенными в "Правилах устройства электроустановок потребителей", "Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

К работам по эксплуатации систем управления и защиты допускаются персонал, прошедший инструктаж по технике безопасности и допущенный к эксплуатации СУЗ.

Категорически запрещается проводить обслуживание и подключение датчиков уровня, электроконтактного манометра, пускателя и кабеля связи с электронасосным агрегатом при включенном автоматическом выключателе. Нельзя забывать, что в паузах работы проводится измерение сопротивления изоляции обмотки при напряжении свыше 100 В, а в любой момент может последовать автоматическая команда на включение пускателя.

Необходимо учитывать, что в системах водоснабжения присутствует ряд факторов – это опасная высота, ограниченное пространство, высокая токопроводность стен и полов из-за сырости, увеличивающих вероятность несчастных случаев. Регулировку токовой защиты следует проводить отверткой с изолированной ручкой. Следует помнить, что и при отключенном вводном автомате внутри ящика есть клеммы и проводники, остающиеся под опасным напряжением.

Станция должна быть закреплена на стене помещения в удобном для обслуживания месте и надежно заземлена, дверца ящика управления при автоматической работе должна быть закрыта, не допускается попадание внутрь ящика воды, грызунов и насекомых, это может привести к выходу из строя электронной системы, возгоранию и поражению электрическим током. Подключение станции производится в соответствии с рис.3.12. Прежде чем приступить к монтажу системы, необходимо ознакомиться с сопроводительной документацией на станцию, датчики и электронасосный агрегат, проверить внешнее состояние станции и комплектующего оборудования. В качестве датчиков давления возможно использование практически любого электроконтактного манометра или реле давления (ДМ-2005, ДМ-2010, ЭКМ, РД, и другие, в том числе импортные), необходимо лишь подобрать их по рабочему давлению.

Настройка токовой защиты станции, указанная в паспорте, должна соответствовать току агрегата в номинальном режиме.

Мегаомметром необходимо проверить сопротивление изоляции кабелей связи и обмоток опущенного в скважину электронасосного агрегата двигателя относительно провода заземления. Сопротивление изоляции в практически холодном состоянии должно быть не менее 10 МОм.

Для монтажа станции должно быть выбрано помещение, параметры которого соответствуют климатическому исполнению и степени защиты оболочки станции по требованиям [51]. Недопустимо размещать станции со степенью защиты IP40 в условиях, не исключающих проникновения внутрь атмосферных осадков и прочей влаги.

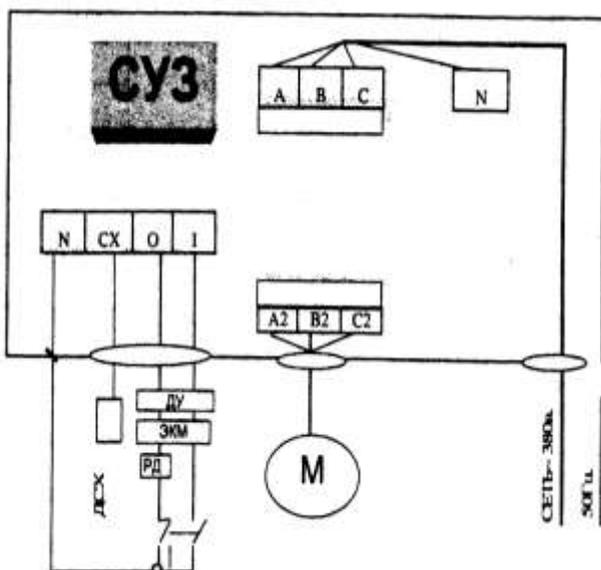


Рис. 3.12. Схема подключения станции

Закрепить ящик согласно проекту, заземлить его, подсоединить к сети переменного тока, подключить выводы агрегата и датчиков автоматики согласно выбранной схеме управления.

Бак водонапорной башни при использовании электродных датчиков должен быть надежно заземлен.

Порядок работы. Станция является универсальным устройством и способна работать в разных режимах и с различными схемами включения. Схема включения определяется типом применяемых датчиков автоматики (или отсутствием таковых), а также характером выполняемых станцией функций [90].

### **3.11. Особенности эксплуатации объектов водоснабжения в зимний период**

Первостепенное значение для бесперебойной подачи воды потребителям в зимнее время имеет своевременное проведение мероприятий по защите систем водоснабжения от замерзания. В течении октября-ноября месяцев необходимо тщательно проверить готовность сетей водопровода и сетевого оборудования к зиме и принять меры по их утеплению.

Для трубопроводов, глубина заложения которых не соответствует нормативным величинам, должны быть предусмотрены меры предохранения от замерзания. В таких водопроводных сетях необходимо обеспечить непрерывную циркуляцию воды или дополнительное утепление труб.

Установленная на водопроводных сетях арматура находится в более неблагоприятных условиях, нежели трубопроводы и поэтому более подвержена промерзанию. До наступления морозов арматура должна утепляться и освобождаться от утепления весной. Для утепления арматуры в колодцах могут быть использованы: солома, отходы хлопка, войлок, пакля, древесная стружка, минеральная вата или другие теплоизоляционные материалы. Утепляющий материал укладывается в колодцах на перекрытия, устраиваемые на глубине 0,4 - 0,5 м от верха крышки колодца. Толщина слоя утепляющего материала устанавливается в зависимости от его теплопроводности. Для соломы, древесной стружки принимается слой толщиной 25-30 сантиметров, для пакли, минеральной ваты - 10 - 15 см.

Для утепления колодцев может быть предусмотрена установка дополнительной деревянной крышки с прокладкой из утепляющего материала (войлок и др.) Дополнительная крышка устанавливается ниже верха колодца на 0,3 - 0,4 м.

Применяемые для утепления материалы должны быть сухими. Основными причинами, вызывающими замерзание водоразборных колонок, являются:

а) недостаточный напор водопроводной сети (менее 1,0 атм.), что вызывает неудовлетворительное отсасывание эжектором воды из сливной трубы;

- б) недостаточная герметичность соединений трубопроводов внутри колонки и неплотность закрытия клапана;
- в) значительный износ клапана эжектора.

При подготовке к зиме водоразборные колонки необходимо осмотреть и устранить неисправности. Для более надежной работы колонки необходимо утеплить. Для этой цели лучше всего использовать деревянный короб, заполненный теплоизоляционным материалом (минеральная вата и др.)

В зимнее время проверку работы каждой колонки необходимо производить не реже одного раза в 2-3 дня.

С целью предохранения от замерзания водопроводной арматуры и обеспечения надежной работы системы управления насосные заглубленные станции в обязательном порядке должны быть обвалованы земляной насыпью до верха входного люка, а наземные насосные станции как следует утеплены (двери закрыты, окна остеклены) и должны отапливаться.

Во входном люке заглубленной насосной станции и в колодце обслуживания при водонапорной башне необходимо устанавливать дополнительную деревянную крышку с прокладкой из утепляющего материала, расположенную ниже крышки люка на 0,3 - 0,4 м.

Помещение насосной станция должно быть сухим. На вентиляционной трубе заглубленных насосных станций необходимо устанавливать колпаки, предохраняющие насосную станцию от попадания атмосферных осадков.

Водонапорные башни БР-15 и БР-25 в условиях Белоруссии работают не замерзая, если обеспечивается водообмен в башне не реже I раза в сутки. При малом водообмене и продолжительных морозах, когда на стенках бака башни образуется лед толщиной 150 мм, рекомендуется вечером спустить воду через грязевую трубу и вновь наполнить бак водой, включив насос, т.е. сделать искусственный водообмен. При сильных образованиях наледи от слива воды через сливную трубу, необходимо, во избежание падения башни наледь периодически скалывать.

При прекращении разбора воды из башни вследствие аварии в водопроводной сети или насосной станции, или по другим причинам, необходимо спустить воду из башни и устранить неисправность.

Весной, во время таяния льда, рекомендуется в течение двух-трех дней тщательно следить за его состоянием внутри башни и не допускать полного опорожнения бака от воды, чтобы не повредить днище в случае, если лед обрушится.

С наступлением морозов необходимо применять меры к обеспечению постоянного движения воды в трубах, а также систематически производить измерение температуры воды в сети. Измерять температуру можно в любой точке водоразбора под струей воды. Перед измерением необходимо в течение нескольких минут спускать воду.

Снижение температуры воды на участке сети до  $+ 2^{\circ}\text{C}$  и ниже считается угрожающим. В этом случае необходимо принимать срочные меры для прогревания трубопровода путем пропуска воды через пожарный гидрант или водоразборную колонку в конце участка. Выпуск воды следует производить до тех пор, пока температура воды не поднимется до  $+ 4^{\circ}\text{C}$ .

Одним из внешних показателей угрожающего положения на участках сети является наличие на трубах и арматуре в колодцах инея. Исчезновение инея во время пропуска воды через гидрант или специальный выпуск свидетельствует об улучшении положения. Тогда промывку можно прекратить. В сильные морозы нужно в конечных точках водопроводной сети оставлять небольшую постоянную течь воды через краны или вентили. В случае выхода из строя электропогружного насоса, на время ремонта, необходимо сливать воду из трубопроводов.

Отогревание замороженных участков водопроводных сетей производится паяльной лампой, горячей водой, паром и электрическим током. Для отогревания паром требуются прорезиненные шланги диаметром 12...15 мм и длиной не менее 50...60 м. Такой шланг пропускается в замерзший трубопровод через снятую фасонную часть или даже через специально вырубленные отверстия. По мере таяния льда шланг продвигается вперед по трубе. Пар получают из паровых котлов и парообразователей, смонтированных на одноосной тележке или шасси. Эти агрегаты могут транспортироваться автомашинами, тракторами, гужевым транспортом.

### Выводы по главе 3

Наряду с высокой надежностью работы систем водоснабжения важнейшими факторами являются энергоэффективность процесса, а также возможность корректировать технологические параметры работы оборудования.

Правильный подбор электронасосного агрегата является важнейшим резервом энергосбережения.

Приведенные в главе сведения обеспечивают длительную бесперебойную работу агрегата за счет минимизации негативных последствий неправильной эксплуатации скважин.

Схемы, диаграммы и расчетные формулы, приведенные в главе, позволяют выбрать оптимальный напор, подобрать сечение токоподводящего кабеля.

Данные по монтажу электронасосных агрегатов позволят существенно снизить трудоемкость процессов.

Напорные и энергетические характеристики агрегатов позволяют сделать правильный выбор оборудования и оптимизировать затраты на подачу воды.

Автоматизация процессов подачи воды призвана не только сократить трудозатраты при эксплуатации погружных электронасосных агрегатов, но и существенно повысит надежность и снизить энергоемкость процесса.

Использование частотно-регулируемого электропривода является перспективным энергосберегающим решением. Полученные семейства характеристик и кривых позволяют оптимизировать параметры частотного регулирования.

Сведения по эксплуатации скважин, бустерных агрегатов, систем защиты, а также особенности эксплуатации объектов в зимний период ориентированны на практическое использование специалистами по техническому обеспечению животноводства.

## **Глава 4. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

### **4.1. Техническое обслуживание погружных электронасосных агрегатов**

К обслуживанию погружных электронасосных агрегатов допускаются лица, изучившие инструкцию по технической эксплуатации агрегатов и правила техники безопасности при техническом обслуживании. Основная задача обслуживающего персонала – обеспечить надежную и бесперебойную работу погружных электронасосных агрегатов объекта водоснабжения.

Во время эксплуатации и технического обслуживания погружных электронасосных агрегатов обслуживающий персонал обязан вести журнал работы агрегата, строго соблюдать инструкцию по эксплуатации, знать основные неисправности в его работе, систему управления и защиты. Обслуживающий персонал должен заносить в журнал показания амперметра, вольтметра, манометра, водомера и электросчетчика. В обязанности персонала входит участие в замерах уровней воды в скважине, контрольных замерах среднемесячной подачи воды, расхода электроэнергии и полученные данные заносить в журнал работы скважины. Ответственное лицо должно присутствовать при монтаже электронасосного агрегата, записывать в журнал его марку, технические характеристики, глубину спуска в скважину и показания контрольно-измерительных приборов при пробном пуске. Кроме того, персонал должен следить за исправностью питающей электролинии, санитарным состоянием помещения насосной станции и зоны санитарной охраны.

Во время эксплуатации персонал обязан ликвидировать утечки воды из сетевой арматуры и фланцевых соединений.

После пуска погружных электронасосных агрегатов необходимо установить режим его эксплуатации:

- эксплуатационный дебит,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;
- удельный дебит,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;
- статический уровень, м;
- динамический уровень, м;
- максимальный межэксплуатационный период, сутки;

- номинальная сила тока электронасосного агрегата, А;
- содержание механических примесей по массе, %.

Эти параметры заносят в журнал, и они являются первоначальными или отсчетными параметрами.

В состав технического обслуживания погружных электронасосных агрегатов входят следующие операции:

1. Снятие показаний контрольного амперметра один раз в сутки. Ток, потребляемый электродвигателем не должен превышать номинальный, указанный в паспорте агрегата, более чем на 20%. Результаты записываются в журнал.

2. Проверка раз в месяц наличия примесей в воде. Для этого через трехходовой кран необходимо набрать воды в прозрачную емкость объемом не менее одного литра, дать воде отстояться. Если на дне емкости скапливается осадок больше допустимого 0,01%, то для нормальной работы электронасосного агрегата необходимо немного прикрыть задвижку до наступления осветления воды. При продолжительном песковании скважины вызывается ремонтная бригада специализированного предприятия. Непринятие обслуживающим персоналом указанных мер приведет к преждевременному выходу из строя электронасосного агрегата или скважины в целом.

3. Ежедневная проверка работы электронасосного агрегата на слух. Шум работающего агрегата должен быть ровный, без стуков и вибраций. В случаях обнаружения каких-либо неисправностей в работе, колебания стрелки амперметра, снижения напряжения в электросети и давления в водопроводной сети, а также при появлении постороннего шума и вибрации во время работы электронасосного агрегата, обслуживающий персонал должен немедленно остановить его и произвести запись в журнале, затем доложить об этом руководителю предприятия.

4. Ежедневно снимать показания манометра. Для этого первоначально трехходовой кран установить в продувочное положение, чтобы убедиться в правильности показания манометра. Затем трехходовой кран установить в измерительное положение и снять показания манометра с записью в журнал.

5. Проверять один раз в месяц состояние агрегата снятием показаний манометра при полностью закрытой задвижке и при полностью открытой. Показания манометра должны отличаться

не менее чем на 15%. Потери в напорном трубопроводе определять при полностью открытой задвижке по показаниям манометра для работающего и неработающего агрегата. Показания манометра могут отличаться не более чем на 7%. Во избежание перегрева электродвигателя не допускать длительной работы агрегата с закрытой задвижкой.

6. Для проверки состояния электронасосного агрегата необходимо один раз в месяц измерять его подачу расходомером либо объемным способом.

7. Измерение статического и динамического уровней необходимо проводить один раз в месяц с помощью серийно выпускаемых уровнемеров или изготовленных собственными силами.

Правильно организованное обслуживание и наблюдение за работой погружных электронасосных агрегатов позволяет своевременно обнаружить и ликвидировать появившиеся неисправности. Систематическое и постоянное квалифицированное обслуживание погружных электронасосных агрегатов – это залог его безотказной работы [49].

## **4.2. Текущий ремонт погружных электронасосных агрегатов**

Погружные электронасосные агрегаты работают в условиях, резко различающихся не только продолжительностью работы в течение суток, величиной нагрузки или воздействием загрязненной воды и абразивных примесей, но и качеством потребляемой электроэнергии. Практически все детали электронасосных агрегатов, кроме герметичных электродвигателей, работают в перекачиваемой воде и защитить их от проникновения абразива в зону трения практически невозможно. Такие условия определяют широкие колебания сроков службы конкретных электронасосных агрегатов. Обследование водоподъемного оборудования водозаборных скважин показало, что срок службы агрегатов на сельскохозяйственных предприятиях до первого капитального ремонта находится в пределах от 1,4 тыс. до 12 тыс. ч. Имеются агрегаты, проработавшие до 20 тыс. ч.

Текущий ремонт погружных электронасосных агрегатов проводится, когда этого требуют его техническое состояние или

сроки, определяемые в соответствии с периодичностью ремонта на предприятии. Кроме того, текущий ремонт электронасосных агрегатов осуществляется при отказах, причину и последствия которых можно устранить при текущем ремонте, не прибегая к капитальному ремонту.

Для качественного выполнения текущего ремонта электронасосных агрегатов требуется определенный набор оборудования, приборов, инструмента и приспособлений. Поэтому текущий ремонт электронасосных агрегатов должен проводиться на специализированных участках технического обслуживания и текущего ремонта.

Персонал участка выполняет следующую работу:

- установление вида ремонта насоса и электродвигателя (текущий или капитальный);
- текущий ремонт насосов и электродвигателей;
- испытания и обкатку погружных электродвигателей и электронасосных агрегатов после текущего ремонта;
- сдачу насосов и электродвигателей в капитальный ремонт на специализированное предприятие и получение из капитального ремонта.

Для установления вида ремонта на участке определяется остаточный ресурс обмотки, обеспечивающий безаварийную работу электродвигателя до следующего ремонта. В результате разработанной методики и средств диагностирования было определено, что основные параметры, характеризующие техническое состояние изоляции погружных электродвигателей - токи утечки и тангенс угла диэлектрических потерь [102].

После определения остаточного ресурса работы электронасосного агрегата и принятия решения о проведении текущего ремонта, необходимо произвести расстыковку насоса от электродвигателя. Расстыковку насоса от электродвигателя необходимо производить на стенде. Для расстыковки, агрегат устанавливают на стенд, выворачивают винты и снимают сетку (для тех агрегатов, у которых сетка установлена снаружи), отворачивают четыре гайки и через захват гидроцилиндром разъединяют насос от электродвигателя.

Разборку погружных электродвигателей с целью ремонта проводят на стенде. При отсутствии стенда разборку проводят

вручную. Для разборки электродвигатель закрепляют на стенде. Разборку начинают со снятия пескосбрасывателя с вала ротора. Затем у герметичных электродвигателей снимают крышку и диафрагму. У негерметичных электродвигателей отсутствуют крышка, диафрагма и уплотнитель выводов и шпилек.

У электродвигателей ПЭДВ...-144 и ПЭДВ...-180 днище 4 (см. рис. 2.6) снимают с помощью отжимных болтов вместе с подпятником 23. Сняв с вала ротора пружинное кольцо 30, спрессовывают пята 22. В нижний подшипниковый щит 3 заворачивают отжимные болты и отсоединяют его от корпуса статора 2. Отвернув гайки 35 крепления верхнего подшипникового щита 1, и, заворачивая отжимные болты, выпрессовывают щит из корпуса статора вместе с ротором 6. Из корпуса статора вынимают гильзы 18, предохраняющие лобовые части обмотки от повреждений. Затем снимают верхний подшипниковый щит с вала ротора. У всех электродвигателей, кроме ПЭДВ...-180 из верхнего подшипникового щита вынимают корпус 13 с манжетой уплотнения 15.

После разборки детали и узлы электродвигателей и насосов очищают от загрязнений и продуктов коррозии. Дефектацию деталей и узлов погружных насосов и электродвигателей проводят для того, чтобы определить, какие детали и узлы необходимо отремонтировать или заменить, а какие нет. При текущем ремонте погружного насоса производят замену изношенных или поврежденных деталей. В корпусе подшипника, при износе рабочей поверхности подшипника, его выпрессовывают и меняют на новый. При этом номинальный или ремонтный размер устанавливаемых подшипников должен соответствовать ремонтным размерам подшипников и защитных втулок насоса, представленных в табл. 4.2 и 4.3. При отсутствии резинометаллических, армированных металлических втулок, допускается их изготавливать из текстолита марки В или ПТК-35 согласно данным, приведенным в табл. 4.4 и на рис. 4.4.

При текущем ремонте статора электродвигателя заменяют поврежденные выводные провода, изоляцию мест соединения обмотки, а также ослабленные бандажи.

Таблица 4.2. Ремонтные размеры подшипников насоса

Тип насоса	Диаметр рабочей поверхности подшипника, мм			
	номинальный	1-го рем. размера	2-го рем. размера	3-го рем. размера
ЭЦВ4	20 <sup>+0,1</sup>	19,5 <sup>+0,1</sup>	19,0 <sup>+0,1</sup>	18,5 <sup>+0,1</sup>
ЭЦВ5, ЭЦВ6	25 <sup>+0,15</sup>	24,5 <sup>+0,15</sup>	24,0 <sup>+0,15</sup>	23,5 <sup>+0,15</sup>
ЭЦВ8	30 <sup>+0,15</sup>	29,5 <sup>+0,15</sup>	29,0 <sup>+0,15</sup>	28,5 <sup>+0,15</sup>
ЭЦВ10	39,5 <sup>+0,15</sup>	39,0 <sup>+0,15</sup>	38,5 <sup>+0,15</sup>	38,0 <sup>+0,15</sup>

Таблица 4.3. Ремонтные размеры втулок

Тип насоса	Диаметр поверхности втулки защитной, мм			
	номинальный	1-го рем. размера	2-го рем. размера	3-го рем. размера
ЭЦВ4	20 <sup>-0,110 -0,143</sup>	19,5 <sup>-0,110 -0,143</sup>	19,0 <sup>-0,110 -0,143</sup>	18,5 <sup>-0,110 -0,143</sup>
ЭЦВ5, ЭЦВ6	25 <sup>-0,110 -0,143</sup>	24,5 <sup>-0,110 -0,143</sup>	24,0 <sup>-0,110 -0,143</sup>	23,5 <sup>-0,110 -0,143</sup>
ЭЦВ8	30 <sup>-0,065 -0,195</sup>	29,5 <sup>-0,065 -0,195</sup>	29,0 <sup>-0,065 -0,195</sup>	28,5 <sup>-0,065 -0,195</sup>
ЭЦВ10	39,5 <sup>-0,08 -0,24</sup>	39,0 <sup>-0,08 -0,24</sup>	38,5 <sup>-0,08 -0,24</sup>	38,0 <sup>-0,08 -0,24</sup>

Таблица 4.4. Размеры подшипников насосов и электродвигателей, мм

Тип насоса и электродвигателя	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d<sub>1</sub></i>	<i>L</i>
ЭЦВ4	30 <sup>+0,058 +0,035</sup>	20 <sup>+0,1</sup>	22 <sup>+0,33</sup>	25
ЭЦВ5, ЭЦВ6, ДАПВ...-96	38 <sup>+0,068 +0,043</sup>	25 <sup>+0,15</sup>	29 <sup>+0,33</sup>	30
ЭЦВ8, ДАПВ...-120	45 <sup>+0,068 +0,043</sup>	30 <sup>+0,15</sup>	34 <sup>+0,39</sup>	
ПЭДВ...-144	52 <sup>+0,083 +0,053</sup>	35 <sup>+0,15</sup>	39 <sup>+0,39</sup>	35
ЭЦВ10, ПЭДВ...-180	55 <sup>+0,083 +0,053</sup>	39,5 <sup>+0,15</sup>	45 <sup>+0,39</sup>	50
ПЭДВ...-235	65 <sup>+0,083 +0,053</sup>	50 <sup>+0,21</sup>	55 <sup>+0,21</sup>	

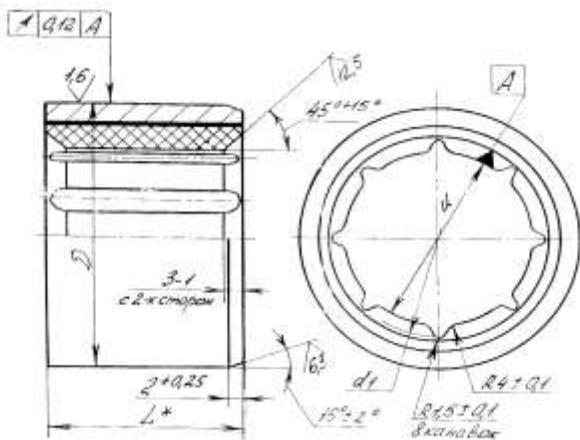


Рис. 4.4. Резинометаллический радиальный подшипник

При замене поврежденных проводов снимают изоляцию в месте соединения выводного провода с проводником обмотки, отсоединяют его в непосредственной близости к месту соединения. Пользуясь данными табл. 2.4 главы 2, из провода марки ВПП или ВПВ заготавливают новый, с одного его конца на 50 мм полностью снимают изоляцию и на длине 10 мм срезают изоляцию на выводном проводе обмотки. Оголенную часть проводов зачищают и обслуживают припоем ПОС-30, затем соединяют и припаивают тем же припоем на всей длине скрутки. Отогнув скрутку к одному из проводников, место соединения изолируют лентой ПВХ шестью слоями в полнахлеста. После изолирования выводной провод крепят к лобовым частям верхних катушек обмотки изоляционной лентой ПВХ шестью слоями в полнахлеста или монтажными хомутиками. Если повреждения выводного провода электродвигателя незначительны, то изоляцию в месте повреждения тщательно зачищают и изолируют лентой ПВХ шестью слоями.

При ремонте ротора погружного электродвигателя устраняют биение вала и износ поверхностей втулок. Биение поверхностей ротора и концов вала устраняют на стенде для правки валов. Вал устанавливают в центрах стенда. Вращая вал рукой, с помощью индикатора часового типа, закрепленного на стойке гидравлического пресса, определяют место наибольшего биения

поверхности. При этом вал должен быть в положении, при котором место наибольшего изгиба было наверху. Для правки под вал подводят призмы так, чтобы между плоскостями призм и валом оставался минимальный зазор. К месту наибольшего изгиба подводят шток гидропресса и прикладывают усилие к валу до тех пор, пока вал не прогнется в обратном направлении до величины, в 5...8 раз превышающей изгиб. Сняв усилие, вновь определяют изгиб.

При износе роторных втулок поверхностей подшипников, вначале определяют поверхность с наименьшим диаметром. По этому диаметру, пользуясь табл. 4.5, определяют ближайший ремонтный размер, на который необходимо перешлифовать втулки ротора. Все диаметры после перешлифовки должны быть одного размера. После шлифовки поверхности вала полируют шлифовальной шкуркой. Шероховатость поверхности втулок после полирования должна быть не ниже  $Ra\ 0,63$ .

Таблица 4.5. Ремонтные размеры втулок ротора под подшипник

Тип электродвигателя	Диаметр втулки на валу ротора под подшипник, мм			
	номинальный	1-го ремонтного размера	2-го ремонтного размера	3-го ремонтного размера
ДАПВ...-96	25 <sup>-0,065</sup> <sub>-0,092</sub>	24,5 <sup>-0,065</sup> <sub>-0,092</sub>	24,0 <sup>-0,065</sup> <sub>-0,092</sub>	23,5 <sup>-0,065</sup> <sub>-0,092</sub>
ДАПВ...-120	30 <sup>-0,16</sup> <sub>-0,29</sub>	29,5 <sup>-0,16</sup> <sub>-0,29</sub>	29,0 <sup>-0,16</sup> <sub>-0,29</sub>	28,5 <sup>-0,16</sup> <sub>-0,29</sub>
ПЭДВ...-144	35 <sup>-0,65</sup> <sub>-0,20</sub>	34,5 <sup>-0,65</sup> <sub>-0,20</sub>	34,0 <sup>-0,65</sup> <sub>-0,20</sub>	33,5 <sup>-0,65</sup> <sub>-0,20</sub>
ПЭДВ...-180	39,5 <sup>-0,20</sup> <sub>-0,25</sub>	39,0 <sup>-0,20</sup> <sub>-0,25</sub>	38,5 <sup>-0,20</sup> <sub>-0,25</sub>	38,0 <sup>-0,20</sup> <sub>-0,25</sub>
ПЭДВ...-235	50 <sup>-0,080</sup> <sub>-0,142</sub>	49,5 <sup>-0,080</sup> <sub>-0,142</sub>	49,0 <sup>-0,080</sup> <sub>-0,142</sub>	48,5 <sup>-0,080</sup> <sub>-0,142</sub>

При ремонте подшипниковых щитов меняют изношенные подшипники на новые. При этом, номинальный и ремонтный размеры устанавливаемых подшипников, представленных в табл. 4.6 должны соответствовать ремонтному размеру втулок ротора под подшипник.

Таблица 4.6. Ремонтные размеры подшипников  
электродвигателя

Тип электродвигателя	Диаметр поверхности подшипника электродвигателя, мм			
	Номинальный	1-го рем. размера	2-го рем. размера	3-го рем. размера
ДАПВ...-96	25 <sup>+0,15</sup>	24,5 <sup>+0,15</sup>	24,0 <sup>+0,15</sup>	23,5 <sup>+0,15</sup>
ДАПВ...-120	30 <sup>+0,15</sup>	29,5 <sup>+0,15</sup>	29,0 <sup>+0,15</sup>	28,5 <sup>+0,15</sup>
ПЭДВ...-144	35 <sup>+0,15</sup>	34,5 <sup>+0,15</sup>	34,0 <sup>+0,15</sup>	33,5 <sup>+0,15</sup>
ПЭДВ...-180	39,5 <sup>+0,15</sup>	39,0 <sup>+0,15</sup>	38,5 <sup>+0,15</sup>	38,0 <sup>+0,15</sup>
ПЭДВ...-235	50 <sup>+0,21</sup>	49,5 <sup>+0,21</sup>	49,0 <sup>+0,21</sup>	48,5 <sup>+0,21</sup>

Ремонт пяты производят в случае наличия рисок и канавок. Пяту устанавливают в патроне токарно-винторезного станка, выверяют биение рабочей поверхности по неизношенному пояску и протачивают рабочую поверхность до удаления следов износа канавок и рисок. После протачивания высота пяты не должна быть меньше допустимого значения, приведенного в табл. 4.7. Затем рабочую поверхность пяты полируют шлифовальной шкуркой до получения шероховатости поверхности  $Ra$  0,63. Установив в канавку вала шпонку, напрессовывают пяту и закрепляют ее пружинным кольцом.

В корпус статора заводят ротор в сборе с нижним подшипниковым щитом и пятой. Затем устанавливают днище в сборе с подпятником на нижний подшипниковый щит до упора. Надев на шпильки шайбы пружинные, заворачивают гайки крепления днища. У герметичных электродвигателей после установки днища на шпильки надевают диафрагму, крышку и заворачивают гайки крепления крышки.

В верхний подшипниковый щит устанавливают манжету уплотнения и корпус. Верхний подшипниковый щит в сборе с подшипниками монтируют на корпусе статора, предварительно надевают на выводные провода резиновые уплотнительные шайбы, а затем продевают провода в отверстия в щите. Установив пружинные шайбы, заворачивают гайки крепления верхнего подшипникового щита. На вал напрессовывают пескосбрасыва-

тель так, чтобы расстояние между торцом пескосбрасывателя и корпусом было  $3 \pm 0,5$  мм.

Таблица 4.7. Размеры пяты и подпятника

Тип электродвигателя	Высота пяты, мм			Высота подпятника, мм		
	номинальная	в сопряжении с подпятником		номинальная	в сопряжении с пятой	
		бывшим в эксплуатации	новым		бывшей в эксплуатации	новой
ДАПВ...-96	10 <sub>-0,09</sub>	8,00	7,60	12 <sub>-0,5</sub>	10,70	10,20
ДАПВ...-120	15 <sub>-0,11</sub>	11,30	10,90	15 <sub>-0,5</sub>	13,50	13,00
ПЭДВ...-144	15 <sub>-0,11</sub>	11,30	10,90	15 <sub>-0,5</sub>	13,50	13,00
ПЭДВ...-180	14 <sub>-0,11</sub>	10,90	10,50	16,5 <sub>±0,2</sub>	14,80	14,30
ПЭДВ...-235	19,5 <sub>-0,11</sub>	14,90	14,50	12 <sub>-0,5</sub>	10,70	10,20

Правильность сборки электродвигателя проверяют, проворачивая вал вручную. Для электродвигателей мощностью более 11 кВт пользуются специальным ключом. При вертикальном положении электродвигателя вал должен проворачиваться в обе стороны без больших усилий и заеданий.

Обкатку и испытание погружных электродвигателей производят на установке для испытания электрооборудования при текущем ремонте КИ-6380 или стенде КИУ-6. Электродвигатель погружают в ванну с водой, включают его обмотку на напряжение 380 В и обкатывают на холостом ходу. Обкатку проводят не менее 20 минут. Направление вращения вала должно быть правым по отношению к выходному концу вала для всех типов электродвигателей, кроме ДАПВ...-96 вращение у которых левое.

### 4.3 Испытания погружных скважинных электродвигателей

Изготовленный и собранный электродвигатель подвергается испытаниям [29]. Для проверки соответствия электродвигателей требованиям нормативных документов проводят приемо-сдаточные и периодические. Эти испытания проводят в объеме, указанном в табл. 4.8.

Таблица 4.8. Объем приемо-сдаточных и периодических испытаний

№ п/п	Проверяемый параметр*	Испытания	
		приемо-сдаточные	периодические
1	Испытания на герметичность	+	+
2	Измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса:		
	в практически холодном состоянии	+	+
	при рабочей температуре	-	+
3	Измерение сопротивления обмотки статора при постоянном токе в холодном состоянии	-	+
4	Определение тока короткого замыкания	+	+
5	Определение тока и потерь холостого хода	+	+
6	Определение напряжения трогания	+	+
7	Испытание электрической прочности изоляции обмоток статора относительно корпуса	+	-
8	Определение начального пускового вращающего момента и пускового тока	-	+
9	Определение наибольшего вращающего момента	-	+
10		-	+
11	Испытание на нагревание	-	+
	Определение коэффициента полезного действия, коэффициента мощности и скольжения	-	+

\* На герметичность не проверяются не герметичные электродвигатели. Знак «+» означает, что испытания проводятся. Знак «-» означает, что испытания не проводятся.

Испытания по пунктам 2 и 7 при агрегатировании с насосом допускается проводить при испытании агрегата.

Обкатка и испытание погружных электродвигателей производится на стенде, разработанном на базе контрольно-испытательной установки КИУ-6.

*Внешний осмотр.* При внешнем осмотре обращают внимание на комплектность сборки, состояние выводных проводов обмотки, четкость надписей и знаков на табличке. С помощью специального ключа проверяется легкость вращения вала электродвигателя. Вал двигателя должен проворачиваться при вращающем моменте не более 2 Нм. Кроме того, измеряется расстояние от торца выходного конца вала до торца верхнего подшипникового щита. Это расстояние в электродвигателях должно соответствовать табл. 4.9.

Таблица 4.9. Длина выходного вала для различных типов двигателей

Тип электродвигателя	Размер, мм	Тип электродвигателя	Размер, мм
ДАВ...-96	39	ПЭДВ...-180	36
ДАВ...-120	74	ПЭДВ...-180 для ЭЦВ10	36
ПЭДВ...-144	79	ПЭДВ...-235	83

*Испытания на герметичность.* Испытания на герметичность проводят воздухом под давлением 0,02 МПа в течение времени, необходимого для осмотра, но не менее 2 мин. Просачивание воздуха в местах соединений не допускается. Двигатели с фильтром испытанию на герметичность не подвергают.

Измерение сопротивлений отдельных фаз обмотки статора при постоянном в практически холодном состоянии проводят методом двойного моста [71] прибором УПИП-60М, входящего в состав установки. Сопротивление следует измерять между каждой парой линейных выводов. Каждое сопротивление должно быть измерено не менее трёх раз. Результаты измерения одного и того же сопротивления не должны отличаться от среднего значения более, чем на 0,5%. Сопротивление отдельных фаз обмотки определяется при трёхкратном измерении сопротивления между каждой парой линейных выводов обмотки статора двигателя.

ля. За действительное результирующее значение измеряемого сопротивления принимается среднее арифметическое всех измеренных значений. Сопротивление фазы обмотки статора двигателя агрегата, прилегающей к выводу 1, определяют в соответствии с [7] по формуле:

$$R_1 = \frac{R_{31} + R_{12} + R_{23}}{2}, \quad (4.1)$$

где:  $R_{31}, R_{12}, R_{23}$ , - сопротивления, измеренные соответственно между выводами 3 и 1, 1 и 2, 2 и 3, Ом.

По аналогичным формулам с круговой перестановкой соответствующих индексов следует определять сопротивление прочих фаз. Среднюю величину сопротивления одной фазы определить по формуле:

$$R_{cp} = \frac{R_{31} + R_{12} + R_{23}}{3}. \quad (4.2)$$

Если расхождения в измеренных значениях сопротивлений  $R_{31}, R_{12}, R_{23}$ , не превосходят 2%, то сопротивление одной фазы определяют по упрощённой формуле:

$$R = \frac{Ru}{2}, \quad (4.3)$$

где:  $Ru$  - среднее арифметическое трёх сопротивлений, измеренных между линейными выводами.

Прочность изоляции обмотки статора относительно заполненного водой корпуса двигателя агрегата проверяют на установке УПУ-1М. Регулирование испытательного напряжения в соответствии с [54] следует производить плавно, путём регулирования напряжения, подводимого к первичной обмотке трансформатора. Испытание следует начинать с напряжения, не превышающего половины окончательного. Время, допускаемое для регулирования напряжения от половинного значения до полного, должно быть не менее 10 с. Полное испытательное напряжение выдерживается в течение 1 мин, после чего плавно снижается до половинного значения и отключается питание трансформатора. Многофазная обмотка двигателя агрегата испытывается относительно его корпуса целиком, т. к. её фазы сопряжены между собой наглухо. Изоляция обмотки относительно корпуса

двигателя, заполненного водой, должна в соответствии с ГОСТ 183-74 выдерживать без повреждения в течение 1 мин синусоидальное испытательное напряжение 1800 В частоты 50 Гц. Результаты испытания изоляции обмотки относительно корпуса двигателя следует считать удовлетворительными, если во время испытания не произошло пробоя изоляции. Пробой изоляции определяется по отклонению стрелки киловольтметра. Испытанию изоляции обмотки на электрическую прочность должно предшествовать измерение сопротивления изоляции обмоток в практически холодном состоянии.

*Определение силы тока и потеря мощности при коротком замыкании.* Перед проведением испытания вал электродвигателя затормаживают с помощью специальной планки с головкой под выводной конец вала. Включив индукционный регулятор, поднимают напряжение на зажимах электродвигателя до 100 В и снимают показания амперметров и ваттметров. Токи и потери мощности при коротком замыкании не должны превышать значений, указанных в табл. 4.10.

*Определение силы тока и потеря мощности при холостом ходе.* Перед определением тока и потерь мощности при холостом ходе электродвигатель должен обкатываться до тех пор, пока не стабилизируется ток, но не менее 0,5 ч. Для проведения испытаний электродвигатель подключают к фидеру вспомогательного пульта, включают индукционный регулятор и с его помощью на зажимах электродвигателя устанавливают номинальное напряжение. После установки номинального напряжения считывают показания амперметров, включенных в фазы электродвигателя, затем электродвигатель отключают от регулятора, включают в сеть и проводят его обкатку. После 0,5 ч обкатки электродвигатель вновь включают на зажимы индукционного регулятора, на которых устанавливают номинальное напряжение, и измеряют потребляемый электродвигателем ток. Если ток не изменяется в течение 5...10 мин, то измеряют ток и потери мощности при холостом ходе.

Таблица 4.10. Токи и потери мощности при коротком замыкании

Тип электродвигателя	Ток короткого замыкания, А,	Потери мощности, Вт,	Тип электродвигателя	Ток короткого замыкания, А,	Потери мощности, Вт
ДАПВ0,75-96	2,8	320	ПЭДВ11-180	30,0	2200
ДАПВ1,1-96	3,5	400	ПЭДВ13-180	32,0	2100
ДАПВ3-120	8,2	1000	ПЭДВ15-180	34,0	2000
ДАПВ4-120	10,4	1500	ПЭДВ17-180	35,0	2000
ДАПВ5,5-120	13,6	1600	ПЭДВ20-180	35,0	1900
ПЭДВ2,2-144	8,5	910	ПЭДВ22-180	35,0	1800
ПЭДВ3-144	8,9	950	ПЭДВ30-180	44,0	2000
ПЭДВ4-144	14,0	1500	ПЭДВ33-180	50,0	2500
ПЭДВ5,5-144	15,7	1680	ПЭДВ30-235	95,0	6200
ПЭДВ6,3-144	16,0	1700	ПЭДВ37-235	106,0	6100
ПЭДВ7,5-144	21,0	2000	ПЭДВ45-235	115,0	6000
ПЭДВ9-144	26,0	2500	ПЭДВ55-235	130,0	6000
ПЭДВ11-144	31,4	2990	ПЭДВ63-235	141,0	6000

За действительный ток холостого хода ( $I_0$ ) принимается среднее арифметическое значение токов каждой фазы:

$$I_0 = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}. \quad (4.4)$$

За потери холостого хода ( $P_0$ ) принимается сумма показаний двух ваттметров:

$$P_0 = P_1 + P_2. \quad (4.5)$$

Ток и потери мощности при холостом ходе не должны превышать указанных в табл. 4.11.

Таблица 4.11. Ток и потери мощности при холостом ходе

Тип электродвигателя	Ток холостого хода, А	Потери мощности, Вт	Тип электродвигателя	Ток холостого хода, А	Потери мощности, Вт
ДАПВ0,75-96	1,0	200	ПЭДВ11-180	12,3	1720
ДАПВ1,1-96	1,4	280	ПЭДВ13-180	13,5	1850
ДАПВ3-120	4,0	600	ПЭДВ15-180	15,0	2140
ДАПВ4-120	4,2	650	ПЭДВ17-180	17,2	2530
ДАПВ5,5-120	5,8	820	ПЭДВ20-180	21,8	2900
ПЭЛВ2,2-144	3,3	650	ПЭДВ22-180	22,5	3200
ПЭДВ3-144	3,6	690	ПЭДВ30-180	29,5	3500
ПЭДВ4-144	4,1	850	ПЭДВ33-180	32,0	3800
ПЭДВ5,5-144	6,1	930	ПЭДВ30-235	28,1	3400
ПЭДВ6,3-144	7,8	1000	ПЭДВ37-235	33,5	3900
ПЭДВ7,5-144	8,5	1200	ПЭДВ45-235	38,5	4200
ПЭДВ9-144	10,4	1450	ПЭДВ55-235	50,0	6200
ПЭДВ11-144	12,4	1750	ПЭДВ63-235	58,0	7000

Определение напряжения трогания заключается в измерении напряжения, при котором ротор электродвигателя начинает вращения. На пульте управления установки КИУ-6 включают ключ «Определение напряжения трогания», после чего включается индукционный регулятор и поднимает напряжение на обмотке электродвигателя до тех пор, пока ротор не начинает вращение, а на пульте управления загорается сигнальная лампа. В момент загорания этой лампы по вольтметру определяют напряжение, которое не должно превышать 55% номинального напряжения электродвигателя, т. е. 220 В. Следует отметить, что в момент начала разворота ротора резко снижается потребляемый электродвигателем ток, в индукционном регуляторе также резко уменьшается падение напряжения, и напряжение на зажимах электродвигателя увеличивается. В данном случае напряжением трогания считают напряжение перед его резким увеличением.

В табл. 4.12. приведены напряжения трогания и коэффициента полезного действия погружных электродвигателей. Испытание электрической прочности обмотки относительно корпуса заполненного водой, проводится в соответствии с [45]. Перед испытаниями один из выводных проводов электродвигателя присоединяется к высоковольтной шине вспомогательного пульта установки КИУ-6. При этом зачищенные от изоляции участки двух других выводных концов не должны прикасаться к каким-либо частям установки. Испытание происходит автоматически: включаются индукционный регулятор и высоковольтный трансформатор.

Таблица 4.12. Напряжения трогания и КПД

Тип электродвигателя	Напряжение трогания, В	КПД, %	Тип электродвигателя	Напряжение трогания, В	КПД, %
ДАПВ0,75-96	198	57	ПЭДВ11-180	210	81
ДАПВ1,1-96	198	62	ПЭДВ13-180	210	82
ДАПВ3-120	202	74	ПЭДВ15-180	210	83
ДАПВ4-120	202	74	ПЭДВ17-180	215	84
ДАПВ5,5-120	204	75	ПЭДВ20-180	215	84
ПЭДВ2,2-144	209	76	ПЭДВ22-180	215	84
ПЭДВ3-144	209	77	ПЭДВ30-180	215	85
ПЭДВ4-144	209	78	ПЭДВ33-180	215	86
ПЭДВ5,5-144	209	79	ПЭДВ30-235	218	85
ПЭДВ6,3-144	209	79	ПЭДВ37-235	218	85
ПЭДВ7,5-144	209	80	ПЭДВ45-235	218	85
ПЭДВ9-144	209	80	ПЭДВ55-235	218	86
ПЭДВ11-144	209	81	ПЭДВ63-235	218	85

Серводвигатель регулятора плавно поднимает напряжения на изоляции обмоток до 1800 В частоты 50 Гц, под этим напряжением изоляция выдерживается 1 мин, после чего вновь включается серводвигатель и плавно снижает напряжение. При напряжении около 600 В испытательное напряжение отключается. При пробое изоляции происходит автоматическое отключение напряжения, а на пульте управления установки загорается сиг-

нальная лампа. Испытанию изоляции обмотки на электрическую прочность должно предшествовать измерение сопротивления изоляции обмоток в практически холодном состоянии.

Определение наибольшего вращающего момента производится расчетным путем по круговой диаграмме, построенной по результатам опыта холостого хода и короткого замыкания. При определении коэффициента полезного действия потери в обмотках приведены к расчетной рабочей температуре  $45^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.4. Испытания погружных электронасосных агрегатов**

При проведении испытаний погружных электронасосных агрегатов используется следующее оборудование, приспособления и инструмент: испытательный стенд ИС 8738; ключи 7811-0004, 7811-0023, 7811-0024, 7811-0025, 7811-0041 С 1 X 9 ГОСТ 2839-71; отвертки 7810-0340, 7810-0345 Гр. Кд. 21. хр. ГОСТ 17199-71.

При проведении испытаний необходимо выполнить следующие операции. Вывернуть фильтры или пробки из верхнего подшипникового щита и днища. В погружной насос вернуть колено, опустить в испытательную ванну с водой, подсоединять второй фланец колена к трубопроводу и закрепить штурвалом. Зачистить концы установочных проводов и подсоединить к клеммной коробке. Проверить направление вращения ротора насоса при закрытой задвижке путем переключения двух фаз установочного провода. Увеличение показания манометра указывает на правильное направление вращения ротора. Провести обкатку насоса в течение 30 мин при минимальной подаче. Величина тока при этом не должна изменяться и превышать номинального значения. Проверить производительность и напор электронасосного агрегата в точке, соответствующей номинальному режиму работы его и в двух крайних точках рабочей области характеристики насоса. Проверить потребляемый ток электронасосного агрегата в точке, соответствующей номинальному режиму работы. Отключить электродвигатель. Проверить сопротивление изоляции на корпус. Отвернуть штурвал от трубопровода, поднять агрегат из ванны и слить воду из электро-

двигателя. Завернуть пробки или фильтры. Занести результаты испытания в журнал. Заполнить паспорт электронасосного агрегата согласно результатам испытания.

Отремонтированные погружные электронасосные агрегаты подвергаются приемо-сдаточным испытаниям для контроля соответствия агрегатов требованиям технических условий. Приемо-сдаточные испытания проводят по плану сплошного контроля. Проверка параметров отремонтированных агрегатов производится в номинальном режиме работы. Объем и очередность испытаний отремонтированных агрегатов следующие:

- измерение подачи и напора;
- ток номинальный;
- направление вращения ротора;
- проверка внешних утечек насоса;
- проворачиваемость ротора агрегата;
- измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса в практически холодном состоянии при рабочей температуре;
- испытание электрической прочности изоляции обмоток статора относительно корпуса;
- проверка качества лакокрасочного покрытия;

Испытания агрегатов проводятся с целью удостоверения их годности для использования в соответствии с требованиями, установленными в нормативных документах и контрактах. Для проверки соответствия агрегатов требованиям нормативной документации на этапе серийного производства устанавливаются в соответствии с техническими условиями следующие основные виды испытаний: приемо-сдаточные и периодические.

Для оценки эффективности и целесообразности внесения предлагаемых изменений в конструкцию агрегатов и технологию их изготовления проводят типовые испытания.

Приемо-сдаточные испытания агрегатов проводит отдел технического контроля завода на стендовом оборудовании и средствами измерений, которые имеются в испытательной лаборатории. Приемо-сдаточные испытания проводят по плану сплошного контроля. Проверка параметров и характеристик при испытании проводится в номинальном режиме работы агрегата.

Если в процессе приемо-сдаточных испытаний будет обнаружено несоответствие хотя бы одному из требований технических условий для параметров, указанных в табл. 2.13, то агрегат бракуется и возвращается в производство для устранения дефекта. После устранения дефекта агрегат вновь подвергается приемо-сдаточным испытаниям в полном объеме. Принятыми считаются агрегаты, которые выдержали приемо-сдаточные испытания, укомплектованы и упакованы.

Периодические испытания проводятся для подтверждения качества агрегатов, выпущенных в течение контролируемого периода, стабильности технологического процесса, а также возможности продолжения изготовления агрегатов по действующей конструкторской и технологической документации и продолжения их приемки. Периодические испытания проводит испытательная лаборатория. Ревизию агрегатов, не выдержавших периодических испытаний, проводит испытательная лаборатория совместно с отделом технического контроля. Количество агрегатов одного типоразмера и период между периодическими испытаниями определяются графиком. Отбор агрегатов на складе готовой продукции для проведения испытаний проводит представитель испытательной лаборатории из числа агрегатов, изготовленных в контролируемый период и выдержавших приёмо-сдаточные испытания в полном объёме. Отбор агрегатов оформляется актом.

Испытаниям на надёжность подвергаются агрегаты каждого типоразмера, установившегося серийного производства не реже одного раза в три года, а также агрегаты, выпускаемые после внесения изменений в конструкцию, технологию или замены материалов, которые могут повлиять на показатели надёжности агрегатов. Результаты периодических испытаний действительны на период до следующих периодических испытаний. При получении положительных результатов периодических испытаний качество агрегатов в течение контролируемого периода считается подтверждённым по показателям, проверяемым в составе периодических испытаний. Кроме того, считается подтвержденной возможность дальнейшего изготовления и приёмки агрегатов по той же документации, по которой изготовлены агрегаты, подвергнутые данным периодическим испытаниям. Если агрегат не

выдержал периодических испытаний, то приёмку и отгрузку агрегатов приостанавливают до выявления причин возникновения дефектов, их устранения и получения положительных результатов повторных периодических испытаний. Технические службы предприятия совместно с отделом технического контроля и испытательной лабораторией проводят ревизию агрегата и анализируют результаты периодических испытаний для выявления причин появления и характера дефектов. По результатам анализа составляют перечень дефектов, обнаруженных при периодических испытаниях, и перечень мероприятий по устранению дефектов и причин их возникновения.

Повторные испытания проводят на удвоенном количестве вновь изготовленных агрегатов, в полном объёме периодических испытаний после выполнения мероприятий по устранению дефектов и причин, их вызывающих. К моменту проведения повторных периодических испытаний должны быть представлены материалы, подтверждающие устранение дефектов, выявленных при периодических испытаниях, и принятие мер по их устранению. При положительных результатах повторных периодических испытаний приёмку и отгрузку агрегатов возобновляют. При получении отрицательных результатов повторных периодических испытаний принимается решение о прекращении приёмки агрегатов, изготовленных по той же документации, по которой изготавливались агрегаты, не подтвердившие качество продукции за установленный период, и о принимаемых мерах по отгруженной продукции.

Типовые испытания агрегатов проводят с целью оценки эффективности и целесообразности предлагаемых изменений в конструкцию или технологию изготовления. Эти изменения могут повлиять на технические характеристики продукции, связанные с безопасностью для жизни, здоровья или имущества граждан, либо могут повлиять на эксплуатацию агрегатов, в том числе на важнейшие потребительские свойства или на соблюдение условий охраны окружающей среды. Типовые испытания проводит испытательная лаборатория. Типовые испытания проводятся с участием представителя отдела перспективных разработок или других заинтересованных лиц. Типовым испытаниям подвергают первые 3 агрегата, изготовленные с внесением в конструк-

цию или технологию изготовления предлагаемых изменений. Продолжительность обкатки должна быть не менее: - для агрегатов мощностью до 10 кВт - 0,1 ч, для агрегатов мощностью свыше 10 кВт до 100 кВт - 0,25 ч. При обкатке проверяется отсутствие явлений, свидетельствующих о недостатках изготовления или сборки, посторонний шум или вибрация. Контроль габаритных размеров агрегатов производится измерительным инструментом. Контроль массы агрегатов производится взвешиванием на весах РП-500-Ш13М.

Напорная характеристика представляет собой зависимость напора агрегата от его подачи. Энергетическая характеристика представляет собой зависимость потребляемой мощности и коэффициента полезного действия агрегата от подачи. Определение напорной и энергетической характеристик проводится одновременно путём обработки полученных исходных данных на ПЭВМ IBM PC 386 SX40 в автоматическом режиме работы стенда АИС 8737 М1.

Проверку направления вращения ротора агрегата проводят на стенде по максимальному напору.

Испытание на отсутствие внешних утечек в насосе агрегата проводят на стенде АИС 8737 М1 водой под давлением, создаваемым насосным агрегатом при максимальном напоре, в течение времени, необходимого для осмотра, но не менее двух минут. Течь воды в местах соединений не допускается. Наличие защиты двигателя от попадания механических примесей проверяется визуально.

Проворачиваемость ротора агрегата проверяют проворачиванием от руки, используя отвёртку или рукоятку.

Контроль формы исполнения двигателя агрегата проводят визуально внешним осмотром на соответствие.

Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса двигателя агрегата, заполненного водой, измеряют мегомметром при подаче напряжения 500 В либо с помощью устройства контроля изоляции, входящего в состав стенда АИС 8737 М1. Измерение сопротивления изоляции обмотки статора относительно корпуса двигателя в практически холодном состоянии должно проводиться через 1 час после заполнения дви-

гателя водой, а при рабочей температуре - непосредственно после испытаний.

Качество лакокрасочного покрытия и наличие защитных покрытий крепежных деталей, изготовленных из коррозионно-стойких материалов проверяют визуально, внешним осмотром или сравнивают с эталонами-образцами, утвержденными в установленном порядке.

Проверку комплектности, маркировки и упаковки агрегата проводят визуально, внешним осмотром на соответствие требованиям конструкторской документации.

Контроль класса двигателя по способу защиты от поражения электрическим током проводят визуально, внешним осмотром изоляции обмоточного провода и проверкой документа на его поставку. Изоляция должна быть двойной или усиленной.

Контроль материалов проводят на соответствие действующему перечню материалов, разрешенных для применения в контакте с пищевыми продуктами и питьевой водой Министерства здравоохранения Республики Беларусь, а также проверкой наличия действующего удостоверения о государственной гигиенической регистрации электронасосных агрегатов, выданного Минздравом. Контроль наличия знака "место строповки" проводят визуально. Контроль показателей надежности осуществляют по данным подконтрольной эксплуатации.

Результаты измерений должны быть обработаны с целью получения количественных значений параметров агрегата. Обработка результатов измерений проводится в соответствии с инструкциями по применению используемых средств измерений, а также по формулам, выражающим правила подсчета количественных значений требуемых параметров по результатам измерений. При работе стенда АИС 8737 М1 в автоматическом режиме ПЭВМ производит математическую обработку результатов испытаний, с целью получения количественных значений подачи, напора, потребляемого тока, потребляемой мощности в рабочем режиме и коэффициента полезного действия агрегата, пересчитывает данные параметры для условий проведенного испытания и приводит их к номинальной частоте вращения и (при необходимости) к номинальной плотности воды и номинальному напряжению электрической сети.

Результаты испытаний агрегата считаются удовлетворяющими требованиям нормативной и технической документации, если выполняются следующие условия:

- объём испытаний полностью соответствует установленным требованиям программы и методики испытаний;
- значения всех параметров, полученные в результате испытаний, находятся в допустимых пределах, установленных в нормативной документации в виде числовых значений, графиков и требований к форме характеристик;
- погрешности определения параметров не должны превышать предельных значений.

#### **Выводы по главе 4**

Правильное и своевременное техническое обслуживание является важнейшим фактором обеспечения надежности и долговечности работы оборудования для водоснабжения животноводческих ферм.

Режим эксплуатации погружных электронасосных агрегатов зависит от особенностей источника и должен быть определен исходя из практического опыта эксплуатации скважины.

Сведения по текущему ремонту погружных электронасосных агрегатов позволяют существенно сократить время и повысить качество проведения работ.

Приведенные справочные данные по ремонтным размерам элементов и сопряжений агрегатов обеспечивают возможность планирования работ и создания текущего запаса частей, принадлежностей и инструментов.

Изложенные методы испытаний погружных скважных электродвигателей позволяют минимизировать вероятность отказов в производственных условиях и повысить надежность работы системы водоснабжения.

Методы испытаний погружных электронасосных агрегатов определяют и четко регламентируют меры по выявлению дефектов и возможных неисправностей агрегата.

Проведение заводских испытаний направлено на обеспечение стабильного качества выпускаемой продукции.

## Глава 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

### 5.1 Техничко-экономическое обоснование применения погружных электронасосных агрегатов

Основными показателями технико-экономической оценки электронасосных агрегатов и способов механизации водоснабжения являются:

- снижение затрат труда;
- снижение эксплуатационных затрат и стоимости единицы продукции;
- размер необходимых капитальных вложений и срок их окупаемости.

Затраты труда выражаются в человеко-часах на  $1 \text{ м}^3$  воды, поданной потребителю и определяются как отношение количества рабочих, обслуживающих электронасосный агрегат, к его часовой производительности. Степень  $\Pi_{тр}$  снижения затрат труда в процентах при одном из двух сравниваемых способов механизации водоподъема определяется по формуле:

$$\Pi_{тр} = \frac{\Pi_{баз} - \Pi_{нов}}{\Pi_{баз}} 100, \quad (5.1)$$

где  $\Pi_{баз}$ —затраты труда на  $1 \text{ м}^3$  воды при базовом (существующем) способе водоподъема;

$\Pi_{нов}$  — затраты труда на  $1 \text{ м}^3$  воды при новом способе водоподъема.

Наиболее важным показателем при оценке способов механизации водоснабжения является снижение себестоимости работ и себестоимости  $1 \text{ м}^3$  воды [109].

Как известно, себестоимость складывается из двух видов издержек: прямых и косвенных. Прямые издержки идут непосредственно на производство продукции или выполнение работ; косвенные - распределяются условно, по всем видам продукции и работ пропорционально основной оплате труда.

Учитывая, что технологический процесс при механизации водоснабжения не претерпевает существенных изменений и по-

казатели новых электронасосных агрегатов принципиально не отличаются от показателей заменяемых электронасосных агрегатов, при оценке способов можно ограничиться учетом только прямых эксплуатационных затрат, в которые входят следующие элементы:

- оплата труда рабочих;
- стоимость электроэнергии, горючего, смазочных и других материалов;
- отчисления на амортизацию машин и оборудования;
- затраты на ремонт машин и технический уход.

Снижение  $\mathcal{E}_3$  прямых эксплуатационных затрат в процентах по предлагаемому (новому) способу механизации водоснабжения, по сравнению с существующим (базовым), определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{тр} = \frac{\mathcal{E}_{баз} - \mathcal{E}_{нов}}{\mathcal{E}_{баз}} 100, \quad (5.2)$$

где  $\mathcal{E}_{баз}$  — эксплуатационные затраты на 1 м<sup>3</sup> воды при существующем (базовом) способе механизации водоснабжения;  
 $\mathcal{E}_{нов}$  — эксплуатационные затраты на 1 м<sup>3</sup> воды при новом способе механизации водоснабжения.

Общая норма амортизационных отчислений  $H_o$  складывается из норм для полного и частичного восстановления основных фондов  $H_b$ , включающих капитальный ремонт и модернизацию  $H_{к.м.}$ . т. е.

$$H_o = H_b + H_{к.м.} \quad (5.3)$$

Норма на полное восстановление определяется по формуле:

$$H = \frac{B_{cp} - L_{cp}}{B_{cp} A_n}, \quad (5.4)$$

где  $B_{cp}$  - средняя восстановительная стоимость;  
 $L_{cp}$  - средняя ликвидационная стоимость;  
 $A_n$  - амортизационный период.

Норма на капитальный ремонт и модернизацию определяется по формуле:

$$H_{к.м.} = \frac{K_{cp} + M_{cp}}{B_{cp} A_n} 100 = \frac{K_{к.м.}}{B_{cp} A_n} 100, \quad (5.5)$$

где  $K_{cp}$  - средняя стоимость капитальных ремонтов за весь амортизационный период;

$M_{cp}$  - средняя стоимость модернизации за весь амортизационный период;

$K_{к.м}$  - общие затраты на капитальный ремонт и модернизацию.

Амортизационные отчисления на полное восстановление, отнесенные к единице производительности насосов и электронасосных агрегатов ( $1 \text{ м}^3$  воды), определяются по формуле:

$$A = \frac{Ba}{100QkT_2}, \quad (5.6)$$

где  $B$  — балансовая стоимость электронасосного агрегата, руб.;  
 $a$  - процент ежегодных амортизационных отчислений на полное восстановление;

$Q$  - производительность электронасосных агрегатов за час чистой работы,  $\text{м}^3$ ;

$k$  — коэффициент использования рабочего времени смены;

$T_2$  — время работы электронасосных агрегатов за год в часах.

Амортизационные отчисления на капитальный и текущий ремонты и технический уход, отнесенные на единицу производительности электронасосных агрегатов, определяются по формуле:

$$R = \frac{Bc}{100QkT_2}, \quad (5.7)$$

где  $c$  - процент ежегодных отчислений на капитальный или текущий ремонты и технические уходы.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (5.6).

Издержки на горючие и смазочные материалы, приходящиеся на единицу производительности, определяются по формуле:

$$C = \frac{NqЦ_2\alpha}{100QkT_2}, \quad (5.8)$$

где  $N$  — номинальная мощность двигателя агрегата, л. с.;

$q$  — удельный расход горючего на 1 л. с. ч, кг;

$Ц_2$  — комплексная цена 1 кг горючего, руб.;

$\alpha_2$  — процент использования мощности двигателя.

## 5.2. Потребительские свойства погружных электронасосных агрегатов

На ОАО «Завод Промбурвод» разработан и поставлен на производство конструктивный ряд более 150 типоразмеров погружных скважинных электронасосных агрегатов 4", 5", 6", 8" и 10". Электронасосные агрегаты новой конструкции имеют улучшенные технико-экономические показатели на уровне лучших зарубежных фирм. Производительность агрегатов от 1 до 160 м<sup>3</sup>/ч, напор от 10 до 300 м, мощность электродвигателя от 0,35 до 65 кВт. Так, коэффициент полезного действия увеличился для агрегатов: 6" от 2,5 до 10,4%; 8" от 2,5 до 7,0%; 10" от 3,7 до 5,7%. В связи с этим снизилось потребление электроэнергии. За год непрерывной эксплуатации погружной электронасосный агрегат экономит от 11 до 27 тыс. кВт·ч электроэнергии. Основные и удельные технико-экономические показатели скважинных электронасосных агрегатов, выпускаемых на ОАО «Завод Промбурвод», представлены в табл. 5.1 [46, 51].

При оценке погружных электронасосных агрегатов необходимо учитывать удельные показатели. К их числу относятся: удельное потребление электроэнергии, удельная материалоемкость и удельная стоимость.

Удельное потребление электроэнергии  $N_{y\partial}$  в Вт·ч на подачу 1 м<sup>3</sup> воды на высоту 1 м определяется по формуле:

$$N_{y\partial} = 1000 \frac{N_H}{Q_H H_H}, \quad (5.9)$$

где  $N_H$  - мощность электронасосного агрегата, кВт;

$Q_H$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/ч;

$H_H$  - напор насоса, м.

Удельный расход электроэнергии  $P_{y\partial}$  в Вт на 1 м напора определяется по формуле:

$$P_{y\partial} = 1000 N_H / H_H. \quad (5.10)$$

Таблица 5.1. Техничко-экономические показатели  
скважинных электронасосных агрегатов

Тип насоса и электродвигателя	Поддача Q, м <sup>3</sup> /ч	Напор H, м	КПД агрегата, %	Потребляемый ток, А	Cosφ	Потребляемая мощность, кВт	Удельный расход электроэнергии на 1 м напора, Вт	Удельное потребление электроэнергии, Вт·ч/м <sup>3</sup> ·м	Удельная материалоемкость, кг/(м <sup>3</sup> ·ч·м)
ЭЦВ4-2,5-65 ДАПВ1,1-96	2,5	67,5	36	3,0	0,77	1,25	18,5	7,43	0,130
ЭЦВ5-6,5-80 ДАПВ3-120	6,5	84,8	39	7,6	0,78	3,86	45,7	7,00	0,092
ЭЦВ6-6,5-90 ПЭДВ3-144	6,5	90,6	47	7,0	0,84	3,99	44,0	6,77	0,101
ЭЦВ6-10-80 ПЭДВ4-144	10	81,4	52	8,5	0,85	4,85	59,6	5,96	0,072
ЭЦВ6-16-90 ПЭДВ5,5-144	16	91,6	53	12,5	0,84	6,25	68,2	4,26	0,045
ЭЦВ8-25-110 ПЭДВ11-180	25	106,2	58	24,0	0,83	13,40	126,2	5,04	0,040
ЭЦВ8-40-90 ПЭДВ15-180	40	95,5	57	33,0	0,85	19,11	200,1	5,00	0,031
ЭЦВ8-65-70 ПЭДВ20-180	65	69,5	53	47,3	0,74	22,63	325,6	5,00	0,027
ЭЦВ10-65-100 ПЭДВ25-180	65	102,1	62	65,0	0,79	30,83	302,0	4,65	0,026
ЭЦВ10-65-125 ПЭДВ33-180	65	129,9	62	74,6	0,81	39,66	305,3	4,69	0,021
ЭЦВ10-65-100 ДАПВ30-235	65	99,0	62	63,5	0,76	31,11	314,2	4,83	0,031
ЭЦВ10-120-60 ПЭДВ33-180	120	60	57	74,6	0,81	39,8	630,0	5,53	0,028
ЭЦВ10-120-60 ДАПВ30-235	120	60	62	61,5	0,86	34,9	580,0	4,85	0,031
ЭЦВ10-160-75 ДАПВ45-235	160	75	62	91,1	0,86	51,6	688,0	4,3	0,033

Удельная материалоемкость  $M_{y\partial}$  электронасосного агрегата определяется как частное от деления его веса в кг на его производительность в  $\text{м}^3/\text{ч}$  на напор в 1 м и выражается по формуле:

$$M_{y\partial} = \frac{m_a}{Q_{II} H_{II}}, \quad (5.11)$$

где  $m_a$  - масса электронасосного агрегата, кг.

Удельная стоимость  $C_{y\partial}$  электронасосного агрегата зависит от балансовой стоимости, производительности и его напора.

Известно, что эффективность применения новых агрегатов и средств автоматизации водоснабжения зависит не только от технических и производственно – эксплуатационных преимуществ перед заменяемым агрегатом, но и от стоимости нового агрегата. Погружной электронасосный агрегат с хорошими техническими показателями, но имеющий высокую стоимость, не может быть эффективным для потребителя, так как он не обеспечивает необходимого снижения себестоимости воды для того, чтобы окупить затраты на приобретение нового электронасосного агрегата в экономически целесообразный срок. По соображениям экономической эффективности, предельно допустимая цена  $C$  на новый агрегат, при установленном сроке окупаемости затрат  $T$ , определяется выражением:

$$C = P T, \quad (5.12)$$

где  $P$  – годовая экономия, получаемая в результате применения нового агрегата, руб.;

$T$  – срок окупаемости капитальных затрат в годах.

Выгодность замены еще не полностью амортизированного электронасосного агрегата на новый, более совершенный, определяется уравнением:

$$K_n + K_y \leq \mathcal{E} T, \quad (5.13)$$

где  $K_n$  — капитальные вложения на новую технику, руб.;

$K_y$  — убыток от ликвидации не полностью амортизированного электронасосного агрегата, руб.;

$\mathcal{E}$  — годовая экономия, получаемая от применения новой техники, руб.;

$T$  — срок окупаемости капитальных затрат в годах.

В этом случае

$$T = \frac{K_n + K_y}{\mathcal{E}}, \quad (5.14)$$

Удельную стоимость  $C_{y\partial}$  электронасосного агрегата рекомендуется исчислять как частное от деления их балансовой стоимости  $B$  на величину  $QH$ , т.е.:

$$C_{y\partial} = \frac{B}{QH}, \quad (5.15)$$

### 5.3 Эффективность применения погружных электронасосных агрегатов

В практике водоснабжения основными факторами, определяющими экономическую эффективность электронасосных агрегатов, являются потребляемая мощность, подача, напор и стоимость, т. е. размер капиталовложений на приобретение электронасосных агрегатов оказывает влияние на себестоимость подаваемой потребителю воды.

Себестоимость поданной потребителю воды равна сумме  $\Sigma \mathcal{E}$  всех эксплуатационных затрат в руб., деленных на количество поданной воды в год в  $\text{м}^3$ , т. е.:

$$D = \frac{\sum \mathcal{E}}{365Q_{\text{сп.сут}}}. \quad (5.16)$$

В эксплуатационные затраты входят:

- отчисления на амортизацию, текущий ремонт и техническое обслуживание, принимаемые по установленным нормативам;
- заработная плата обслуживающего персонала;
- затраты на электроэнергию, горючие, смазочные и другие материалы, расходуемые в процессе эксплуатации и определяемые расчетом или учетом фактических показателей производственных объектов.

Затраты на электроэнергию, в основном, зависят от величины подачи, напора и коэффициента полезного действия электронасосного агрегата. В табл. 5.2 даны затраты на электроэнергию в год при работе электронасосных агрегатов 10 и 24 ч

в сутки ( $T_c = 3650$  и  $8760$  соответственно) и при стоимости 1 кВт/ч электроэнергии — 162 руб.

Таблица 5.2. Стоимость электроэнергии, потребляемой за год

Тип электронасосного агрегата	Подача $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	Напор $H$ , м	КПД агрегата, %	Стоимость электроэнергии за год, тыс. руб.	
				при $T_c = 3650$ ч	при $T_c = 8760$ ч
ЭЦВ4-2,5-65 ДАПВ1,1-96	2,5	67,5	36	760	1822
ЭЦВ5-6,5-80 ДАПВ3-120	6,5	84,8	39	2890	5495
ЭЦВ6-6,5-90 ПЭДВ3-144	6,5	90,6	47	2030	4871
ЭЦВ6-10-80 ПЭДВ4-144	10	81,4	52	2535	6086
ЭЦВ6-16-90 ПЭДВ5,5-144	16	91,6	53	4480	10751
ЭЦВ8-25-110 ПЭДВ11-180	25	106,2	58	7415	17800
ЭЦВ8-40-90 ПЭДВ15-180	40	95,5	57	10856	26056
ЭЦВ8-65-70 ПЭДВ20-180	65	69,5	53	13808	33140
ЭЦВ10-65-100 ПЭДВ25-180	65	102,1	62	17340	41617
ЭЦВ10-65-125 ПЭДВ33-180	65	129,9	62	22062	52948
ЭЦВ10-65-100 ДАПВ30-235	65	99,0	62	16814	40354
ЭЦВ10-120-60 ПЭДВ33-180	120	60	57	20463	49111
ЭЦВ10-120-60 ДАПВ30-235	120	60	62	18812	45150
ЭЦВ10-160-75 ДАПВ45-235	160	75	62	31354	75252

В табл. 5.3 представлены результаты расчетов по определению величины эксплуатационных затрат на  $1 \text{ м}^3$  поданной воды различными электронасосными агрегатами.

Расчет произведен при условии 24-часовой работы электронасосных агрегатов в сутки.

Зачастую, при проектировании и вводе в эксплуатацию объектов водоснабжения, завышают напор и подачу электронасосного агрегата и, таким образом, расходуется дополнительная электроэнергия.

Таблица 5.3. Показатели эксплуатационных затрат на 1 м<sup>3</sup> воды

Тип электронасос- ного агрегата	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Балансовая стоимость, тыс.руб.	Амортизационные отчисления, тыс. руб.	Стоимость электроэнергии в год, тыс. Руб.	Зарплата с начислениями в год, тыс. руб.	Всего затрат в год, тыс. руб.	Подача воды за год, м <sup>3</sup>	Затраты на 1 м <sup>3</sup> воды, руб.
ЭЦВ4-2,5-65 ДАПВ1,1-96	2,5	556	111	1822	216	2705	21900	124
ЭЦВ5-6,5-80 ДАПВ3-120	6,5	565	113	5495	216	6387	56940	112
ЭЦВ6-6,5-90 ПЭДВ3-144	6,5	489	97	4871	216	3673	56940	100
ЭЦВ6-10-80 ПЭДВ4-144	10	492	98	6086	216	6892	87600	79
ЭЦВ6-16-90 ПЭДВ5,5-144	16	635	127	10751	216	11729	140160	84
ЭЦВ8-25-110 ПЭДВ11-180	25	832	166	17800	216	19014	21900	87
ЭЦВ8-40-90 ПЭДВ15-180	40	1000	200	26056	216	27472	350400	78
ЭЦВ8-65-70 ПЭДВ20-180	65	1411	282	33140	216	35049	569400	62
ЭЦВ10-65-100 ПЭДВ25-180	65	1579	315	41617	216	43727	569400	77
ЭЦВ10-65-125 ПЭДВ33-180	65	1824	364	52948	216	55352	569400	97
ЭЦВ10-65-100 ДАПВ30-235	65	1579	315	40354	216	42464	569400	75

В качестве примера соответствия эффективности насосного оборудования требованиям систем водоснабжения при выборе

электронасосных агрегатов, обратимся к табл. 5.4 (затраты на создание дополнительного напора).

Таблица 5.4. Сравнение эффективности электронасосных агрегатов с пониженным напором.

Марка агрегатов	Мощность Электродвигателя $N_2$ , кВт	Дополнительная потреб- ляемая мощность $\Delta N$ , кВт ч/год	Годовой перерасход электроэнергии $\Delta W$ , кВт ч/год	Годовая экономия, тыс. руб.	
				при $T_2 = 3650$	при $T_2 = 8760$ ч
ЭЦВ 6-10-90	4,0			704,8	1691,6
ЭЦВ 6-10-110	5,5	1,05	9180		
ЭЦВ 6-16-90	5,5			806,5	1935,7
ЭЦВ 6-16-110	7,5	1,6	14412		
ЭЦВ 8-25-90	9,0			1492,4	3581,8
ЭЦВ 8-25-110	11,0	2,3	20577		
ЭЦВ 8-40-90	15,0			2366,4	5679,3
ЭЦВ 8-40-110	17,0	4,0	35362		
ЭЦВ 8-65-90	25,0			3850,5	9241,3
ЭЦВ 8-65-110	30,0	6,6	58548		
ЭЦВ 10-65-55	17,0			1857,8	4285,7
ЭЦВ 10-65-65	18,5	5,1	25025		

Дополнительная мощность  $\Delta N$ , которую придется затратить на создание дополнительных напора, подачи и годового перерасхода электроэнергии  $\Delta W$  определяется по формуле

$$\Delta N = \frac{Q \times \Delta H + \Delta Q \times H + \Delta Q \times \Delta H}{367 \times \eta}, \text{кВт} \quad (5.17)$$

$$\Delta W = \frac{23,87(Q \times H + \Delta Q \times H + \Delta Q \times \Delta H)}{\eta}, \text{кВт ч}, \quad (5.18)$$

где  $Q$ - требуемый расход, м<sup>3</sup>/ч;

$\Delta Q$ - запас по расходу, м<sup>3</sup>/ч;  
 $H$ - требуемый напор, м;  
 $\Delta H$  – запас по напору, м;  
367,2 и 23,87- переводные коэффициенты;  
 $\eta$  - КПД электронасосного агрегата.

К примеру, для системы водоснабжения требуется напор в 90 м. В расчетах применяется условие непрерывного режима работы за год. Ранее оборудование, представленное в первой строке не выпускалось, и потребитель вынужден был выбирать с определенным запасом.

Из табл. 5.4 видно, что параметрами, определяющими энергетические затраты в системах водоснабжения, являются расход и высота подъема воды, а также гидравлические потери в системе водоснабжения и коэффициент полезного действия электронасосного агрегата.

#### **5.4. Оптимизация характеристик электронасосных агрегатов**

Ранее, при проектировании и строительстве объектов водоснабжения закладывалось лишь то насосное оборудование, которое встречалось в каталогах заводов-производителей. В результате этого, на многих объектах установлено насосное оборудование с большим запасом по напору, подаче и мощности, что было бы оправдано при их стопроцентной загрузке. Но, сегодня, этот запас приводит лишь к огромному перерасходу электроэнергии.

Мировая статистика показывает, что оплата электроэнергии составляет примерно 85% общих расходов, с лихвой перекрывает цену насосного оборудования и расходы на техническое обслуживание, равные соответственно 5 и 10%.

Энергосбережение - одна из самых насущных задач современности и правильный выбор насосного оборудования для водоснабжения – это неременное условие решения этой задачи. При выборе насосного оборудования следует учитывать следующие основные факторы:

- соответствие насосного оборудования требованиям системы

водоснабжения;

- эффективность применения насосного оборудования, снижающая эксплуатационные расходы в виде оплаты за электроэнергию;
- капитальные затраты на приобретение насосного оборудования;
- расходы, связанные с техническим обслуживанием.

Соответствие насосного оборудования требованиям системы водоснабжения означает, что насос должен подавать нужное количество воды и создавать требуемое давление. При этом он должен работать в допустимом диапазоне подач, а лучше - в номинальном режиме. Организации, проектирующие системы водоснабжения, при обосновании выбора насосного оборудования, зачастую не в полной мере учитывают эти обстоятельства. А эксплуатирующие организации нередко не уделяют должного внимания обеспечению соответствия реальных режимов работы допустимым диапазонам. Эксплуатация же насосного оборудования вне области его допустимых режимов приводит к следующим негативным факторам:

- снижению экономической эффективности систем водоснабжения;
- увеличению расхода воды в системах;
- увеличению расхода электроэнергии;
- повышению шума и вибрации агрегата и трубопроводов;
- преждевременному износу и выходу из строя подшипников насосного оборудования;
- поломке вала насоса или электродвигателя;
- разрушению рабочего колеса насоса.

Напор, развиваемый многоступенчатым погружным электронасосным агрегатом, зависит от диаметра рабочего колеса, частоты его вращения, профиля и числа лопаток. Для большинства центробежных электронасосных агрегатов напор, создаваемый рабочим колесом диаметром  $D$  и числом оборотов в минуту  $n$  или частотой вращения  $\omega$ , можно определить по выражению:

$$H = \alpha \frac{\pi^2 \times D^2 \times n^2}{60^2 \times g} = \alpha \frac{\omega^2 \times R^2}{g} = \alpha \frac{g^2}{g}, \quad (5.19)$$

где  $H$  - напор, развиваемый насосом, м;  
 $\vartheta$  - окружная скорость на внешней окружности рабочего колеса, м/с;  
 $\alpha$  - коэффициент снижения напора из-за возникновения гидравлических сопротивлений с учетом конечного числа лопастей рабочего колеса. Для насосов со спиральным отводом  $\alpha = 0,35 \dots 0,5$ , с направляющим аппаратом  $\alpha = 0,45 \dots 0,55$ ;  
 $n$  - скорость вращения рабочего колеса, мин<sup>-1</sup>;  
 $\omega$  - частота вращения рабочего колеса, рад/с<sup>-1</sup>  
 $R$  - радиус рабочего колеса, м;  
 $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Подача погружного электронасосного агрегата зависит от тех же факторов, а также от поперечных размеров каналов рабочего колеса. Напор и подача воды погружным электронасосным агрегатом зависят от конструкции (качества гидравлического уплотнения между нагнетательной и всасывающей областью насоса), которую точно определяет завод изготовитель. Характеристики центробежных погружных электронасосных агрегатов строят по опытным данным.

Напор, подачу, коэффициент полезного действия и мощность электронасосного агрегата находят по их характеристикам. Все перечисленные параметры взаимосвязаны. Так, с увеличением высоты нагнетания подача центробежного электронасосного агрегата уменьшается, изменяются высота всасывания, коэффициент полезного действия и мощность.

При значительных превышениях напора уменьшение его дросселированием невыгодно, так как связано с непроизводительными затратами энергии. Рациональный способ регулирования центробежных погружных электронасосных агрегатов — преобразование характеристик за счет изменения частоты вращения или диаметра рабочего колеса (обточка).

Если частота вращения рабочего колеса погружного электронасосного агрегата увеличивается или уменьшается, то соответственно снижаются или возрастают подача, напор и мощность. Зависимость этих величин от частоты вращения можно выразить уравнением динамического подобия центробежного насоса:

$$\frac{Q_1}{Q} = \sqrt{\frac{H_1}{H}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N}} = \frac{n_1}{n} = \frac{\omega_1}{\omega}, \quad (5.20)$$

где:  $QHN$  - расход, напор и мощность насоса, м<sup>3</sup>/с, м, кВт, при номинальной частоте вращения  $n$  мин<sup>-1</sup> или  $\omega$  рад/с;

$Q_1 H_2 N_3$  - те же величины при измененной частоте вращения.

Коэффициент полезного действия насоса при изменении частоты вращения практически не изменяется. Уменьшать частоту вращения более чем в два раза не рекомендуется. Увеличивать ее можно только по согласованию с заводом-изготовителем, обычно не более чем на 20% выше номинальной. При уменьшении частоты вращения центробежного насоса допустимая высота всасывания несколько возрастает, при увеличении — падает.

Подачу, напор и мощность погружных электронасосных агрегатов можно изменить, уменьшив диаметр рабочего колеса. Это предусматривается конструктивными решениями заводоизготовителей. Параметры центробежного насоса при обточке колеса изменяются так же, как и при изменении частоты вращения:

$$\frac{Q_1}{Q} = \sqrt{\frac{H_1}{H}} = \sqrt[3]{\frac{N_1}{N}} = \frac{D_1}{D}, \quad (5.21)$$

где:  $D_1$  и  $D_2$  диаметры нормального и обточенного рабочих колес. Уменьшение диаметра рабочего колеса более чем на 20% не допускается. Для расширения области применения некоторые заводы-изготовители выпускают насосы, как с нормальными, так и с обточенными рабочими колесами. На ОАО «Завод Промбурвод» в настоящее время разработана методика расчета ступени насоса и если требуется насосное оборудование с заданными параметрами, не выпускаемыми серийно, завод может его изготовить.

## 5.5 Эффективность применения бустерных агрегатов

В настоящее время ОАО «Завод Промбурвод» предлагает большое разнообразие бустерных агрегатов с широким диапазо-

ном подач и напоров. Поставлено на производство около семидесяти типоразмеров бустерных агрегатов. В табл. 5.5 представлены технико-экономические показатели основных моделей бустерных агрегатов.

Таблица 5.5. Техничко-экономические показатели бустерных агрегатов

Типоразмер агрегата	Подача Q, м <sup>3</sup> /ч	Напор H, м	КПД агрегата, %	Номинальная мощность, N <sub>н</sub> , кВт	Номинальный ток, I, А	Удельное потребление электроэнергии, Вт·ч/м <sup>3</sup> ·м	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
БА6-6,5-70	6,5	70	44	3	7	6,9	113
БА6-10-70	10	70	50	3	7,5	6,1	112
БА6-16-50	16	50	48	4	8,5	6,4	112
БА8-25-55	25	55	50	5,5	13	6,1	125
БА8-25-70	25	70	53	7,5	17	5,7	138
БА8-40-55	40	55	53	9	22	5,7	145
БА8-40-70	40	70	54	11	24	5,6	150
БА8-65-55	65	55	52	15	33	5,4	184

И если требуется агрегат с заданными подачами, не выпускаемыми серийно, завод может его изготовить. В табл 5.6. приводится сравнение эффективности аналогов консольных бустерных агрегатов.

Например, если потребуется агрегат с подачей 30 м<sup>3</sup>/ч и напором 35 м, то придется применить ближайший, более мощный агрегат марки К (КМ)80-50-200, имеющий номинальную подачу 50м<sup>3</sup>/ч и напор 50 м. При этом запас по расходу составит 20м<sup>3</sup>/ч, а по напору – 15 м. Принятый запас увеличит потребляемую мощность на 6,5 кВт, а годовой перерасход электроэнергии составит 57685 кВт/ч при условии непрерывной работы в течение

года. Отсюда следует вывод, что для уменьшения перерасхода электроэнергии необходимо применить бустерный агрегат нестандартного ряда. Сегодня все это реально.

Таблица 5.6 Сравнение эффективности аналогов консольных бустерных агрегатов

Марка агрегата	Подача, Q, м <sup>3</sup> /ч	Напор, H, м	Мощность электро-двигателя, N, кВт	Дополнительная потребляемая мощность, Δ N, кВт	Уменьшение КПД, Δ η %	Годовое увеличение потребления электроэнергии, Δ W кВт/год
К 8/18	8	18	1,5	0,2	4,0	1752
БА 6-6,5-35	8	30	1,1			
КМ 50-32-125	12,5	20	2,2	0,5		4380
К 50-32-125	12,5	20	2,2	0,5	2,0	4380
БА 6-10-35	12,0	27	1,5			
К 20/30	20	30	4,0		2,0	1200
БА 8-25-35	20	39	4,0			
КМ 65-50-160	25	32	5,5	1,08	2,0	9460
К 65-50-160	25	32	5,5	1,08	2,0	
БА 8-25-35	25	35	4,0			
К 45/30	45	30	7,5	1,5	2,0	13140
КМ 30-65-160	50	32	7,5	1,5	1,0	13140
К 80-65-160	50	32	7,5	1,5	2,0	13140
БА 8-40-35	40	35	5,5			
КМ 80-50-200	50	50	15	6,5	1,0	56940
К 80-50-200	50	50	15	6,5	2,0	56940
БА 8-40-55	40	55	9,0			
БА 8-65-55	65	55	15			

Конструктивные особенности консольных агрегатов не позволяют получить широкий диапазон подач и напоров. К примеру, «Борисовский ДОК» использует бустерный агрегат для создания необходимого давления в системе сальников, запирающих выход пара из размольного отделения щепы, а также для охлаждения крышки этих сальников. Здесь используются бустерные

агрегаты с подачей  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напором 120 м с мощностью электродвигателя 3 кВт. Такие консольные агрегаты не производятся.

## Выводы по главе 5

Соответствие насосного оборудования требованиям системы водоснабжения означает, что насос должен подавать нужное количество воды и создавать требуемое давление. При этом он должен работать в допустимом диапазоне подач, а лучше - в номинальном режиме.

Эффективность применения новых агрегатов и средств автоматизации водоснабжения зависит не только от технических и производственно – эксплуатационных преимуществ перед заменяемым агрегатом, но и от стоимости нового агрегата.

Приведенный метод технико-экономического обоснования применения погружных электронасосных агрегатов позволяет прогнозировать затраты на реализацию технологии с учетом эксплуатационных затрат, амортизационных отчислений, а также затрат на ремонты и технический уход. Расчет экономической эффективности применения погружных электронасосных агрегатов базируется на данных, полученных в результате испытаний и эксплуатации оборудования.

Потребительские свойства электронасосных агрегатов дают возможность выбора оборудования для конкретных условий и его эксплуатации с наименьшими затратами.

Большой выбор предлагаемых промышленностью агрегатов позволяет сделать точный выбор по производительности и другим параметрам, отказаться от работы с пониженным напором, и избежать дополнительного расхода энергии.

Предложенные критерии оптимизации характеристик определяют соотношение между основными показателями и техническими характеристика агрегата.

## **Глава 6. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ**

### **6.1. Общие требования техники безопасности**

Настоящая глава содержит правила техники безопасности, распространяющиеся на работу, выполняемую при ремонте и техническом обслуживании объектов водоснабжения.

При производстве указанных работ, необходимо выполнять требования следующих нормативных документов: Правила техники безопасности в строительстве (СНиП-4-80); Правила техники безопасности при геологоразведочных работах, утвержденных Госгортехнадзором СССР 7 декабря 1971 года; Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (М., Металлургия, 1976); Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, утвержденных Главэнергонадзором 21 декабря 1984 года.

Ответственность за организацию работ в соответствии с проектами производства работ или технологическими картами, за соблюдение требований правил техники безопасности и производственной санитарии и выполнение комплексных планов и мероприятий по улучшению условий охраны труда и техники безопасности при производстве работ по ремонту и техническому обслуживанию объектов сельскохозяйственного водоснабжения возлагается на производителей работ и мастеров.

В случае несоблюдения заказчиком мероприятий по технике безопасности, в результате чего создаются условия, угрожающие жизни и здоровью работающих, работы должны быть приостановлены до устранения опасности. Прекращение работ оформляется актом в четырех экземплярах.

На всех объектах водоснабжения при производстве работ по ремонту и техническому обслуживанию должны быть вывешены хорошо видимые предупреждающие, запрещающие и указательные знаки.

Организация рабочих мест должна обеспечивать безопасность выполнения работ. Рабочие места должны быть оснащены средствами индивидуальной защиты - защитными касками с

подшлемниками, диэлектрическими ковриками, перчатками, сапогами, предохранительными поясами. Все защитные средства должны иметь клеймо с указанием даты последнего лабораторного испытания и напряжения, при котором разрешено его использование.

К профессиям рабочих, занятым на буровых работах, ремонте и техническом обслуживании объектов водоснабжения, предъявляются дополнительные (повышенные) требования по технике безопасности. К этим работам допускаются лица (рабочие и инженерно-технические работники) не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, курсовое, бригадное обучение, сдавшие квалификационные экзамены и имеющие удостоверение на право производства работ. До прохождения обучения такие лица к самостоятельной работе не допускаются.

Перед допуском к работе вновь зачисленных рабочих, а также в процессе выполнения ими работ начальники ССМУ обязаны обеспечить обучение и проведение инструктажа по технике безопасности и по безопасным приемам работ следующих видов:

- а) вводный инструктаж;
- б) инструктаж на рабочем месте;
- в) повторный инструктаж;
- г) внеплановый инструктаж;
- д) текущий инструктаж;
- е) курсовое обучение.

Вводный инструктаж проводит инженер по технике безопасности в кабинете или уголке техники, безопасности в рабочее время с максимальным использованием наглядных пособий. Вводный инструктаж включает понятия о производственном травматизме, основные средства профилактики, использование индивидуальных средств защиты, производственная санитария и гигиена труда, а также с разбором характерных несчастных случаев на производстве. По окончании вводного инструктажа каждому работающему должна быть выдана инструкция по технике безопасности, а прохождение фиксируется в контрольном листе.

Инструктаж на рабочем месте проводит производитель работ с ознакомлением рабочего с безопасными методами и приемами работ, с инструкциями по технике безопасности и производст-

венной санитарии, с особенностями производства работ при ремонте и техническом обслуживании. О проведенном инструктаже на рабочем месте производится соответствующая запись в журнале учета инструктажей по технике безопасности.

*Повторный инструктаж по безопасности труда проводит начальник участка или под его руководством производитель работ один раз в месяц, который включает вопросы вводного инструктажа на рабочем месте.*

Рабочий, получивший производственную травму, должен пройти повторный инструктаж. Проведение инструктажа регистрируется в журнале учета инструктажей по технике безопасности.

Внеплановый инструктаж проводят при: изменении правил по технике безопасности и производственной санитарии; изменении технологического процесса; замене или модернизации оборудования, приспособлений и инструмента, влияющего на безопасность труда; нарушении работниками требований безопасности труда, которые могут привести или привели к травме, аварии.

Внеплановый инструктаж проводят индивидуально или с бригадами в объеме первичного инструктажа на рабочем месте. При внеплановом инструктаже, связанном с нарушением правил безопасности, инструктаж проводят с подробным разбором нарушений и последствий, к которым могли привести эти нарушения.

Текущий инструктаж проводят с работниками перед производством работ, на которые оформляется наряд-допуск. Проведение текущего инструктажа фиксируется в наряде-допуске на производство работ.

Независимо от проведения инструктажа наниматель обязан один раз в год организовать проведение обучения всех рабочих и инженерно-технических работников правилам, указанным в настоящей главе, по специальным учебным программам с последующей проверкой знаний квалификационной комиссией.

## **6.2. Требования безопасности при эксплуатации погружных электронасосных агрегатов и других объектов водоснабжения**

К ежедневному обслуживанию и эксплуатации объектов водоснабжения допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие соответствующую квалификационную группу по электробезопасности. В объект водоснабжения входит электрооборудование, которое относится к классу электроустановок напряжением до 1000 В и смонтировано в помещении с повышенной опасностью (наземная насосная станция) или особо опасном (заглубленная насосная станция). Квалификационная группа эксплуатационного персонала при обслуживании наземной насосной станции должна быть не ниже II, а при обслуживании заглубленной насосной станции не ниже III.

При выполнении работ на насосной станции должны строго выполняться правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Применяемый при ежедневном техническом обслуживании инструмент должен быть исправным и отвечать общим требованиям по технике безопасности.

Вокруг скважины устроен пояс строгого режима. Эта зона должна быть изолирована от доступа посторонних лиц. На скважине необходимо обеспечить водоотводы, зеленые насаждения и другие санитарные мероприятия. Особое внимание должно быть обращено на то, чтобы в зону санитарной охраны не проникали загрязнения, отбросы, ядохимикаты, удобрения.

Помещение насосной станции должно содержаться в чистоте, в нем не должны находиться никакие посторонние предметы. Запрещается устраивать в помещении насосной станции мастерские и использовать их в качестве подсобных помещений.

Производить мелкий ремонт в помещении подземной насосной станции разрешается только при полностью снятом напряжении. Перед началом осмотра подземной насосной станции или работы в ней необходимо убедиться в отсутствии природных горючих газов, образующих взрывоопасную смесь с воздухом. Для этого необходимо открыть люк и дать возможность провентилироваться павильону. При открытии крышки подзем-

ной насосной станции необходимо соблюдать осторожность, чтобы не возникло искры. Категорически запрещается пользоваться при открытии стальными предметами. Для освещения в подземной насосной станции должны применяться светильники напряжением 12 В или аккумуляторные фонари во взрывоопасном исполнении.

Токоподводящий провод в насосной станции должен быть покрыт защитным кожухом из дерева или пластика. Категорически запрещается кабель сворачивать в бухты и оставлять незащищенным на полу.

Запрещается эксплуатировать заглубленную насосную станцию залитую водой. Корпус станции управления и шкафов управления насосными агрегатами должны быть соединены с нулевым проводом и заземлены. На объекте должно быть коммутирующее устройство, отключающее объект в целом от сети. При обслуживании или мелком ремонте электроустановок потребителей необходимо предварительно снять напряжение.

Чтобы предотвратить возможный электротравматизм при проведении монтажа водопроводной сети внутри помещения необходимо, чтобы расстояние между электрическими сетями и водопроводными трубами было не менее 250...300 мм. На вводе трубопровода необходимо смонтировать электроизоляционную вставку длиной не менее 0,5 м, а трубопроводы с отводами для автопилотки необходимо обеспечить диэлектрическими вставками через каждые 10 м длины трубопровода.

### **6.3. Требования безопасности при техническом обслуживании водоподъемного оборудования**

Перед спуском рабочих в заглубленные насосные станции, необходимо эти помещения тщательно проверить на наличие газов. Обнаруженный газ должен быть удален проветриванием помещения и произведена повторная проверка наличия газа. При неожиданном появлении газа в заглубленной насосной станции работы следует немедленно прекратить и вывести рабочих из опасной зоны. Наличие газа проверяется с помощью переносных

газоанализаторов или индикаторов (АУХ-2 с индикаторными трубками).

При выполнении работ в колодцах и заглубленных насосных станциях необходимо назначать из состава звена страхующего.

Рабочий, находящийся внизу, должен применять предохранительный пояс и страховочные канаты, закрепляемые наверху. Страхующий обязан держать канат и по условному сигналу принимать немедленные меры к эвакуации пострадавшего. Для оказания помощи пострадавшему спустаться в заглубленные станции необходимо только после одевания шлангового противогаза.

Все работающие с мастиками и красками, содержащими токсические и летучие огнеопасные вещества, должны быть проинструктированы об их свойствах и о правилах техники безопасности и обучены безопасным методам работ.

Контроль за исправным техническим состоянием бурового оборудования, грузоподъемных установок и технической оснастки, в том числе организацией проведения испытаний машин, механизмов и оборудования, возлагается на участковых механиков. Установки должны осматриваться не реже одного раза в месяц. Результаты осмотра заносятся в "Журнал проверки состояния техники безопасности". После каждого ее ремонта составляется акт о приемке установки в эксплуатацию.

Монтажные и ремонтные машины и механизмы, оборудование, инвентарь, инструменты и приспособления к ним должны соответствовать характеру выполняемой работы и находиться в исправном состоянии. Все подъемные приспособления, применяемые для монтажа и демонтажа водоподъемного оборудования, должны иметь трехкратный запас прочности. Перед началом работ подъемные механизмы и приспособления должны быть проверены внешним осмотром.

Все грузоподъемные установки и приспособления должны иметь ясно обозначенные надписи об их предельной нагрузке, дате испытаний, иметь паспорта и сертификаты.

При ремонте и техническом обслуживании объектов водоснабжения запрещается:

а) передвигать самоходную установку с поднятой мачтой или стрелой;

- б) перевозить на платформе установки людей или грузы, не входящие в комплект установки;
- в) производить работы при нахождении под грузом и в зоне возможного падения стрелы грузоподъемной установки или крана плюс 5 м;
- г) производить работы при неисправном или поврежденном ограждении механизмов, а также снимать ограждение до полной остановки движущихся частей;
- д) производить работы на высоте при сильном ветре (5 баллов и более), ливне, гололеде, грозе, сильном снегопаде, тумане и в ночное время;
- в) производить какие-либо работы наверху стрелы или мачты при производстве спускоподъемных операций;
- ж) использование стрелы (мачты) агрегатов с деформированными конструкциями (искривление, трещины, вмятины) или поврежденными узлами крепления;
- з) использование стрелы (мачты) для подтаскивания оборудования, инструмента и других предметов;

Все рабочие и инженерно-технические работники на объектах водоснабжения должны работать в защитных касках. В холодное время года каски должны быть снабжены утеплительными подшлемниками.

Монтажный инструмент (хомуты, шарнирные и цепные ключи и т.п.) должны соответствовать диаметру водоподъемных труб. Производить монтаж, спуск и подъем колонн труб при отсутствии соответствующего монтажного инструмента запрещается.

В процессе свинчивания или развинчивания труб цепным ключом необходимо, чтобы захват ключом был с максимально возможным натягом цепи и ключ должен находиться в положении, исключающем возможность выпадения цепи из гнезд щек.

При работе с цепным ключом не допускается пользоваться дополнительными рычагами.

Подъем и спуск колонны водоподъемных труб и насоса должен производиться медленно. При заклинивании труб и насоса в обсадной колонне подъем (спуск) должен быть немедленно прекращен. Ликвидация заклинивания производится путем медлен-

ного вращения водоподъемной колонны только в правую сторону.

Не разрешается производить спуск и подъем водоподъемных труб с незавернутыми до конца резьбовыми соединениями.

При подъеме и спуске водоподъемных труб в скважину удерживать и направлять колонну труб руками категорически запрещается. Поддерживать и направлять перемещаемое с помощью механизмов оборудование следует только с помощью пеньковых канатов.

При подъеме водоподъемных труб токопроводящий кабель должен быть свернут в бухту и находиться вне рабочей зоны.

Запрещается оставлять подтянутую колонну труб на весу во время перерыва в работе.

Снимать стропы или элеватор с груза или крюка разрешается только после того, как груз надежно установлен.

При подъеме и опускании труб запрещается применять элеватор в неисправном состоянии, а также в зимнее время в обледенелом состоянии.

Талевые канаты должны иметь запас прочности не менее трех по отношению к максимальной проектной нагрузке. На канаты должны быть свидетельства (сертификаты) завода-изготовителя, которые хранятся у исполнителя работ.

Талевый канат должен закрепляться на барабане лебедки с помощью специальных устройств, предусмотренных конструкцией барабана. Во всех случаях при спускоподъемных операциях на барабане лебедки должно оставаться не менее трех витков каната.

Все работающие канаты перед началом смены должны быть осмотрены ремонтником. Запрещается применять канат для спускоподъемных операций, если:

- а) одна прядь каната оборвана;
- б) на длине шага свивки каната диаметром до 20 мм число оборванных проволок составляет более 5 процентов;
- в) канат вытянут, изношен или сплюснут и его наименьший диаметр составляет 90 % и менее первоначального;

г) одна из прядей вдавнена вследствие разрыва сердечника. Мертвый конец талевого каната должен закрепляться тремя винтовыми зажимами и так, чтобы исключить его касание элемен-

тов вышки или мачты. Радиус изгиба каната должен быть не менее 9 диаметров его.

Соединение каната с подъемным инструментом должно производиться с помощью коуша и не менее чем тремя винтовыми зажимами.

#### **6.4. Требования безопасности при изготовлении и ремонте электронасосных агрегатов**

Настоящие требования распространяются на работы, выполняемые при текущем и капитальном ремонте электронасосных агрегатов. Здесь содержатся требования безопасности на разборку, сборку, слесарные работы, механическую обработку, сварку и наплавку, термическую обработку, испытания и покрасочные работы.

Ответственность за создание безопасных условий труда на рабочем месте, выполнение требований настоящей инструкции и комплексных планов и мероприятий по улучшению условий охраны труда и техники безопасности при текущем и капитальном ремонте электронасосных агрегатов возлагается на мастера подразделения.

За невыполнение требований техники безопасности, противопожарной безопасности и производственной санитарии рабочих несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, производственными отходами. Складирование деталей и заготовок должно быть надежным и не препятствовать выполнению работ.

Выполнять работы допускается только на исправном оборудовании, исправным инструментом, приспособлениями, приборами, и применять их только по назначению. При обнаружении каких либо неисправностей оборудования во время обслуживания или выполняемой работы необходимо поставить в известность администрацию подразделения.

Слесарные и сборно-разборные работы. Рабочее место должно соответствовать требованиям организации труда. Нор-

мальная высота верстака допускается 800 мм. При значительных отклонениях роста рабочего от среднего, высоту рабочего места регулируют за счет изменения высоты деревянного настила (решетки). Правильную высоту рабочего места определяют так: зажимают в тиски несколько выступающую деталь, взяв в руки напильник, занимают положение для опиливания, при этом локтевая часть правой руки должна быть горизонтальной.

Все слесарные инструменты должны быть исправны. Направление волокон у ручек молотков должно идти только по длине ручки. Форма ручки коническая, меньшее основание конуса у головки молотка. Расклинивать молотки можно только металлическими завершенными клиньями.

Зубила, крейцмейсели и другие ударные инструменты следует применять длиной не менее 150 мм. Работа напильниками, шаберами и отвертками без ручек воспрещается. Гаечные ключи необходимо выбирать по размеру зева, соответствующему размеру гайки. Работа ключами с изношенными гранями не допускается. Нельзя увеличивать рычаг ключа за счет труб и других приспособлений, чтобы увеличить крутящий момент, надо пользоваться специальными ключами с увеличенными плечами.

При опиливании обязательно следить, чтобы пальцы левой руки не заходили за край напильника вниз. Нельзя сбрасывать стружку голыми руками или сжатым воздухом. Стружка удаляется волосяной щеткой.

При разборке электронасосных агрегатов особенно важно пользоваться специальной оснасткой, приспособлениями и прессовым оборудованием. При выпрессовке деталей прессом необходимо устанавливать деталь на пресс без переносов и принять меры, чтобы снимаемая деталь не упала на ноги.

Резьбовые соединения должны разбираться специальным механизированным инструментом. Необходимо применять гайковерты, работающие на токах высокой частоты 180...200 Гц или питание напряжением не свыше 36 В.

Подключают инструмент к линии только через штепсельный разъем, нельзя подключать его к оголенным концам проводов, контактов рубильников и пускателей.

Все детали после мойки щелочным или кислотным раствором нужно нейтрализовать специальным раствором или про-

мыть чистой водой. Запрещается работать на моечных операциях без спецодежды, защитных очков и перчаток.

Ремонтировать и очищать моечные машины должны специальные рабочие в межсменное время. Перед очисткой или ремонтом необходимо отключить все электроустановки моечных машин, охладить машину и удалить раствор. При разгрузке и подаче на стенды для разборки электронасосных агрегатов необходимо использовать грузоподъемные механизмы и специальные захваты. Нельзя разбирать или собирать агрегаты, подвешенные на подъемных механизмах.

Сварочные и наплавочные работы. Сварочные и наплавочные работы должны выполняться в отдельном огнестойком помещении, обеспеченном приточно-вытяжной вентиляцией. Световой поток электрической дуги в 15 тыс. раз превышает допустимые нормы для незащищенных глаз и может вызвать серьезные заболевания не только у сварщика, но и у лиц, находящихся поблизости. От лучистой энергии глаза и лицо необходимо защищать шлемами и щитками со специальными стеклами, а на руки нужно надевать брезентовые рукавицы.

Чтобы не получить ожогов от брызг расплавленного металла, сварщик должен работать в рукавицах и спецодежде из плотного брезента. Рекомендуется брюки носить навывпуск, куртку не заправлять под пояс брюк, наружные карманы закрыть клапанами и работать в головном уборе. Сварщик или наплавщик должен всегда быть в сухой и исправной одежде, работать в калошах или подстилать под ноги изолирующий коврик.

При сварочных и наплавочных работах запрещается:

- эксплуатировать сварочное оборудование без заземления;
- прикасаться к токоведущим проводам и частям сварочного и наплавочного оборудования;
- применять провода с поврежденной изоляцией. Стены сварочного поста или участка окрашивают в светло-серый цвет краской, содержащей цинковые или титановые белила, хорошо поглощающие ультрафиолетовые лучи. Вблизи участка размещают противопожарные средства: огнетушитель, бочку с водой, ведро, ящик с песком и лопатой.

Испытания электронасосных агрегатов. Работы на испытательной установке погружных электродвигателей КИУ-6 и

стенде для испытания и обкатки электронасосных агрегатов должны производиться бригадой не менее двух человек и имеющих соответствующую квалификационную группу по электробезопасности.

Перед началом работы на установке и стенде необходимо проверить: надежность креплений контакта заземляющего проводника с болтами заземления; уровень воды в резервуарах; состояние мест разъема.

На рабочем месте перед пультом на полу должны находиться диэлектрические коврики, которые должны подвергаться периодической проверке по нормам.

Подключение и отключение погружных электродвигателей должно производиться при снятом напряжении. Подачу напряжения на КИУ-6 можно осуществлять только при условии закрытых дверей ограждения и отсутствия людей на испытательном поле и у ограждения.

### **Выводы по главе 6**

Производство, техническое обслуживание и ремонт водоподъемного оборудования связаны с риском травматизма и поражения электрическим током персонала, работающего в сложных условиях. Только строгое соблюдение предложенных мер позволит обеспечить необходимый уровень безопасности.

Ответственность за организацию работ в соответствии с проектами производства работ или технологическими картами, за соблюдение требований правил техники безопасности и производственной санитарии и выполнение комплексных планов и мероприятий по улучшению условий охраны труда и техники безопасности при производстве работ по ремонту и техническому обслуживанию объектов сельскохозяйственного водоснабжения возлагается на производителей работ и мастеров.

Изложенные требования техники безопасности позволяют избежать производственного травматизма при эксплуатации погружных электронасосных агрегатов и других объектов водоснабжения.

## **Глава 7. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ПОЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ**

### **7.1. Теоретические основы процесса электроактивации воды**

В настоящее время в мировой практике сложилась тенденция возрастающего потребления электрической энергии и увеличения её доли в энергетическом балансе сельскохозяйственных предприятий. Не смотря на увеличение энергоемкости отдельных процессов и операций, такой подход обеспечивает общее снижение удельных энергозатрат на единицу продукции за счет повышения общей эффективности и технологичности производства, а также повышения производительности труда.

Эффективное использование электрической энергии в технологических процессах животноводства достигается за счет применения современного электротехнического и электротехнологического оборудования. Традиционные подходы использования электротехнологий в животноводстве предполагают прямое применение электроэнергии для её преобразования в тепловую (электронагрев) и механическую (вентиляция и др.).

Современные методы электротехнологии, используемые в животноводстве, предполагают мягкое воздействие на объекты и среды. При этом электрическая энергия направлена не на непосредственное изменение их физических свойств, а о веществе является в полученном продукте по своеобразному каталитическому механизму для стимулирования, интенсификации естественных биологических и микробиологических процессов, или наоборот, ингибирования нежелательной микрофлоры и торможения ненужных биологических процессов в организме животного. При таком подходе значительный технологический эффект может быть достигнут при минимальных энергетических затратах.

Одним из важнейших вопросов современного свиноводства является подготовка воды, используемой для поения животных и для приготовления влажных кормовых смесей. Значительная часть источников и систем водоснабжения животноводческих

ферм и комплексов не соответствует требованиям санитарных норм, что в свою очередь приводит к потере продукции.

Большой уровень общей минерализации, высокая концентрация железа и кальция, оказывают непосредственное влияние на организм животных и снижают эффективность использования кормов и кормовых добавок (подкислителей и др.). Солевые отложения вызывают коррозию металлов и являются идеальной средой для развития бактерий и формирования бактерицидных пленок. Этому способствует отсутствие на свиноводческих комплексах средств и оборудования для дезинфекции воды. В результате вода часто не соответствует требованиям санитарных норм, становится причиной кишечных заболеваний и расстройств у животных.

В свиноводстве крайне важно не только обеспечить хорошее качество воды, но и провести ее подготовку с учетом физиологических особенностей организма животных. Поэтому подготовка воды должна решать три основные задачи: очистка от нежелательных соединений и веществ, дезинфекция, а также насыщение воды веществами, необходимыми для улучшения (поддержки) метаболизма в организме животных. Крайне важным представляется повышение эффективности использования подкислителей за счет подготовки воды, обеспечивающей снижение ее буферной емкости и получение дополнительного количества неорганических кислот.

Таким образом, разработка и внедрение технологий подготовки воды на свиноводческих комплексах является важной народнохозяйственной задачей, направленной на повышение общей эффективности производства продукции животноводства [108]. Применение электротехнологии подготовки питьевой воды, с целью ее дезинфекции и изменения рН, позволит снизить уровень желудочно-кишечных заболеваний, повысить усвояемость кормов и продуктивность поросят на откорме. Применение электроактивированной воды как самостоятельно, так и совместно с применением органических кислот, позволит получить значительный экономический эффект по сравнению с традиционной технологией.

Результаты многочисленных исследований позволяют сделать вывод о том, что грунтовые межпластовые воды и воды со

свободной поверхностью во многих регионах республики Беларусь содержат в себе значительное количество нежелательных примесей и не соответствуют Сан. П. и Н. 10-124РБ99. При этом концентрация отдельных вредных веществ превышает ПДК в десятки раз. В большинстве источников вода содержит много солей. Общая жесткость превышает норму в 1...6,8 раз. Концентрация железа выше нормы в 2...48 раз. Воды неглубоких скважин и колодцев часто имеют высокую бактериальную обсемененность, которая возрастает в результате контакта с элементами водопроводной сети [103]. Присутствующие в воде химические соединения могут существенно повлиять на здоровье и продуктивность сельскохозяйственных животных, а бактерии, содержащиеся в воде, могут стать причиной заболеваний. Особенно чувствительны к качеству питьевой воды свиньи. Поэтому подготовка воды для поения животных должна решать три основные задачи: очистка от нежелательных химических соединений и веществ, дезинфекция, а также насыщение воды веществами, необходимыми для жизни и развития животных.

Различают физические, механические, температурные, электрические (электротехнологические) и реагентные методы очистки, обеззараживания и подготовки воды [69, 87, 105, 107]. Механическая очистка в песчаных, керамзитовых, антрацитовых и других фильтрах является дорогостоящей процедурой и не всегда дает положительный результат. Современные полимерные мембраны и фильтры позволяют очистить воду даже от болезнетворных организмов, однако такие фильтры имеют небольшой ресурс, особенно при использовании сильнозагрязненных вод. Температурные методы (дистилляция, замораживание и др.) также являются дорогостоящими и связаны со значительными энергозатратами на их реализацию. К реагентным методам относятся хлорирование, озонирование, кислородная очистка. Реагентные методы часто связаны с насыщением воды нежелательными химическими элементами.

Исследования показали, что питьевая вода является идеальной средой для размножения бактерий и микроорганизмов. В 1 мл питьевой воды обычно содержится около 100000 бактерий, тогда как концентрация не должна превышать 100 бактерий в 1 мл. Плесень, дрожжи, бактерии сальмонеллы и кишечной палоч-

ки могут развиваться в воде очень быстро. Прикрепляясь к внутренней стенке водопровода, они способствуют образованию биологической пленки, которую очень трудно удалить даже такими дезинфекторами как хлорин и пероксид. Поэтому перед технологами постоянно встает вопрос о качестве питьевой воды и чистоте поилок [68].

Одним из средств обеспечения санитарного состояния воды и системы поения является применение кислотных препаратов, которые представляют собой концентрированную комбинацию минеральных и органических кислот [64] (муравьиная, уксусная, лимонная, моно- и диглицериды жирных кислот и др.). Кислоты оказывают двоякое воздействие: подкисляют воду и селективно угнетают рост бактерий [84]. Применение кислотных препаратов позволяет обеззараживать трубопроводы, патрубки, резервуары и саму питьевую воду. Питьевая вода представляет собой нейтральную среду (рН 6,5-8), которая оптимальна для развития энтеробактерий, дрожжей, плесневелых грибов. После добавления в нее кислотных препаратов микроорганизмы погибают. Кроме того, разрушаются биологические пленки на внутренней стенке водопровода. Для введения кислотных препаратов используют медикаторы, универсальные вакуумные поилки и другие устройства.

В условиях современных технологий под воздействием различных стрессовых факторов внешней среды у животных нарушается обмен веществ и энергии, накапливаются вредные продукты метаболизма. Это сопровождается снижением интенсивности или изменением реакций и физиологических процессов. Особенно подвержены стрессам поросята. Стрессобразующие факторы возникают при переходе от одного типа кормления к другому, при перегруппировке и т.д. Пищеварительная система поросенка плохо перестраивается с диеты на основе молочных белков на диету на основе растительных белков.

В настоящее время недостаточно изучен биохимизм уникального процесса выработки биологической структурой большого количества сильной неорганической кислоты, который связан со значительными биоэнергетическими затратами в процессах синтеза и секреции соляной кислоты. Очевидно, что данный процесс тормозится при воздействии стрессобразующих

факторов. Поэтому в мировой практике широко применяют различные кислоты при поении и кормлении свиней. На основе муравьиной, уксусной, пропионовой, молочной, яблочной, винной, фумаровой, лимонной кислот, бутирата, сорбита готовят различные кислотные композиции (пребио, аксидлак и др.). Применение кислот обеспечивает химический эффект уменьшения рН желудка. Кислоты - хорошие ингибиторы микробиологических процессов в организме. Микробный эффект обеспечивает контроль роста патогенных бактерий. Физиологический эффект проявляется в повышении усвояемости корма и улучшении метаболизма. Благодаря снижению рН происходит активизация пепсина в желудке и оптимальное усвоение белков и других питательных веществ. Кислоты защищают клеточную стенку организма от грамотрицательных бактерий. Попадая внутрь клетки, ионы водорода понижают рН плазмы. Изменение внутриклеточного рН бактерий приводит к снижению энергетического потенциала бактериальной клетки, разрушению клеточных мембран бактерии. Помимо снижения роста грамотрицательных бактерий при рН 4,5 улучшается работа секретируемых в желудок ферментов, переваривающих белки, грамположительные (молочные и продуцирующие пропионовую кислоту) функционируют лучше и имеют преимущество перед патогенными микроорганизмами. Снижение нагрузки на организм животных за счет уменьшения микробов обеспечивает профилактику поносов, уменьшение расхода кормов. Оптимальный уровень кислотности в желудке для переваривания белков достигается при значении рН менее 5.

Известно, что поросенок до 60 дней вырабатывает недостаточное количество кислоты, поэтому особенно важным представляется решение проблем, связанных с диареей и другими пищеварительными расстройствами в период отъема и перехода на новый тип кормления, проходящих, как правило, на фоне сильного стресса. Необходимо также отметить, что подкисление воды улучшает ее вкусовые качества. При этом улучшается аппетит животных, поедаемость корма. Уменьшение неконтролируемого распада и разложения питательных веществ в кишечнике обеспечивает снижение образования токсичных веществ при сжигании белков. Являясь естественными метаболитами в орга-

низме животного, кислоты участвуют в обмене веществ, разлагаются и выводятся из организма, не причиняя ему вреда.

Применение кислот с кормами и водой, как правило, дает существенный технологический и экономический эффект. Увеличивается среднесуточный привес до 9%, уменьшаются затраты корма на 12%, снижается падеж животных. В тоже время необходимо отметить, что кислотные композиции на основе органических кислот имеют высокую стоимость, а применение неорганических кислот в чистом виде не всегда оправдано. Кроме того введение и точная дозировка кислот в воду и корма представляются технологически сложными процессами, поэтому в настоящее время еще не получили достаточно широкого распространения[75]. Необходимо также отметить, что ведение подкислителей в корма имеет смысл только на фоне нормального состояния и здоровья животных. При возникновении желудочно-кишечных заболеваний поросят зачастую отказывается от пищи. В этой связи более рациональным выглядит введение кислотных препаратов в питьевую воду.

В последнее время все более широко используют различные электротехнологические методы подготовки воды [77, 93]. Они позволяют получать воду с заданными параметрами и свойствами при незначительных энергетических затратах. При этом отпадает необходимость производства, концентрирования, транспортировки и введения в воду химических реагентов.

Электрохимическая активация основана на свойстве водных растворов, подвергнутых электрохимическому анодному или катодному воздействию на инертном электроде, переходить в длительно существующее неравновесное состояние и проявлять в этом состоянии каталитическую активность и повышенную реакционную способность в окислительно-восстановительных, кислотно-основных и других, сопряженных с ними, реакциях.

Известна биологическая активность активированной электрохимическим воздействием воды, проявляющаяся в предотвращении перекисного окисления липидов в живом организме (антиоксидантная активность), в нормализации окислительно-восстановительных биохимических процессов, в ярко выраженном антимикробном действии. Электрохимическая активация позволяет регулировать физико-химические и биологические

свойства воды за счет изменения активности ионов и самой воды. Электроактивированную воду используют для выпаивания сельскохозяйственным животным и птице с целью повышения их продуктивности и общей резистентности [79, 80, 99].

Электрохимическая активация производится путем катодной или анодной электрохимической обработки воды в дифрагменном электрохимическом реакторе. В результате обработки в катодной камере реактора вода насыщается продуктами катодных электрохимических реакций, обычно гидроксидными металлами, образовавшимися из растворенных солей, гидроксид-ионами, водородом. После катодной электрохимической обработки вода называется католитом. При анодной обработке на нерасходуемом электроде вода насыщается продуктами окисления, в том числе кислотами, синтезированными из растворенных солей, кислородом, хлором. После анодной обработки вода называется анолитом. Активированное состояние воды и растворов в результате электрохимической обработки проявляется в аномальной реакционной способности католита и анолита в окислительно-восстановительных реакциях, в их каталитической, биокаталитической активности. Известны три основных фактора, обуславливающие физико-химическую активность анолита и католита:

- Образование щелочей, кислот, других стабильных продуктов электрохимических реакций в католите и анолите, которые с успехом заменяют традиционные химические добавки, обеспечивают достижение лучших результатов при использовании католита и анолита вместо обычной воды.

- Образование высокоактивных неустойчивых (метастабильных) продуктов электрохимических реакций, которые значительно усиливают проявление кислотных, окислительных, щелочных и восстановительных свойств анолита и католита. Получить их в воде путем растворения химических реагентов, как правило, невозможно.

- Возникновение структур, сформированных в области объемного заряда у поверхности электродов, как свободных, так и в виде гидратных оболочек ионов, молекул, радикалов, атомов, что придает анолиту и католиту свойства катализатора различных химических реакций, в том числе биохимических, так как

способствует изменению активационных энергетических барьеров между взаимодействующими компонентами [19].

Физические и химические свойства воды зависят от направления и интенсивности процессов, происходящих при протекании электрического тока через воду (рис. 7.1).

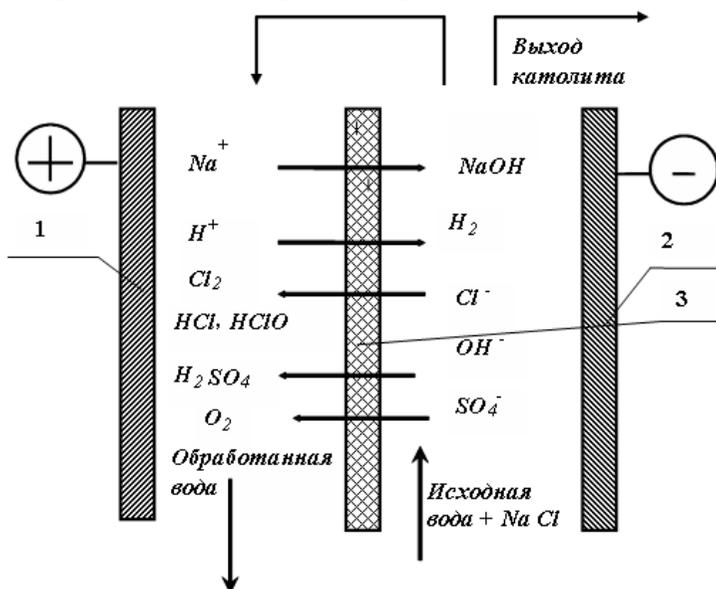


Рис. 7.1. Принципиальная схема процесса электроактивации воды: 1 - анод; 2 - катод; 3 - ионопроницаемая диафрагма

Течение электрического тока обеспечивается за счет переноса через ионопроницаемую диафрагму ионов, растворенных в воде солей, и ионов, образующихся в результате диссоциации воды. Положительно заряженные ионы (катионы  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  и др.) стремятся к отрицательно заряженному электроду (катоде), а отрицательно заряженные (анионы  $OH^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $Cl^-$  и др.) - к положительно заряженному (аноду) [25].

Наличие диафрагмы обуславливает повышение в каждой из зон электрохимической ячейки концентрации ионов определенного знака и возникновение явления концентрационной поляризации. При этом избыточная концентрация ионов определенного знака, не имеющих противоиона для образования каких-либо

веществ, служит причиной изменения не только химической активности раствора, но и физического состояния растворителя.

Протекание тока проводимости сопровождается выделением тепла Джоуля-Ленца, количество которого зависит от удельного сопротивления раствора. Концентрация ионов так же как и их подвижность является основным фактором, определяющим электропроводность раствора. Необходимо отметить также важность явления химической поляризации.

Ионы раствора, достигая электродов, разряжаются возле них, в результате чего протекают электрохимические реакции с образованием химических соединений и веществ [21].

В катодной зоне электролизера протекает разряд молекул воды с образованием ионов гидроксила и атомарного водорода:



Потенциал реакции образования водорода очень невысок и она протекает с выходом по току близким к 100%. Вторая фаза катодного процесса характеризуется образованием щелочи в результате взаимодействия ионов гидроксила с катионами соли:



Подкисление воды в анодной зоне электролизера происходит за счет образования активных компонентов раствора (кислот, активного хлора и др.). В начале обработки наиболее вероятной является реакция образования кислорода, протекающая в результате разряда ионов гидроксила [37]:



или прямого разряда молекул воды:

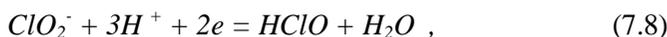
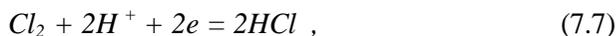


При смещении рН анолита в кислую сторону и повышении концентрации анионов соли увеличивается вероятность их раз-

ряда по протекающей в две фазы и включающей промежуточное образование атомарного адсорбированного хлора реакции:



Результатом вторичных электродных реакций является образование кислот по уравнениям [78]



которые в общем виде выглядят как



Результатом взаимодействия щелочи, образовавшейся в катодной зоне с кислотами является образование гипохлоритов



В свою очередь гипохлорит в результате диссоциации распадается на ионы ( $Na^+ ClO^-$ ) и далее происходит восстановление соединений хлора, в том числе и в результате разряда аниона  $ClO^-$  на аноде.

Имеет место также течение нежелательных электрохимических реакций с участием материала анода, которые в общем случае могут быть представлены уравнением [81]



Существенное увеличение напряжения выше потенциала разряда ионов металла, сопровождающееся изменением направления протекания электрохимических процессов, приводит к увеличению доли участия материала анода в электрохимических реакциях и его разрушению в результате электрохимической коррозии. Поэтому на предлагаемой установке используется анод, имеющий электрохимически стойкое покрытие.

В результате обработки вода насыщается различными химическими веществами. Основными являются кислород и кислоты

(соляная и др.) Присутствие соединений хлора исключает развитие нежелательных болезнетворных микроорганизмов в воде в процессе хранения в накопительной емкости. Концентрация активного хлора не превышает допустимую в соответствии с ГОСТ на питьевую воду и может регулироваться путем изменения скорости подачи воды и раствора, а также концентрации исходной соли в растворе.

При выращивании свиней существует необходимость использования кислотной фракции (анолита). При этом производство кислоты и соответственно pH получаемой воды является определяющим фактором. В результате анодной электрохимической обработки кислотность воды увеличивается. Незначительно уменьшается поверхностное натяжение, сильно увеличивается содержание растворенных хлора и кислорода, уменьшается концентрация водорода и азота, изменяется структура воды. К устойчивым продуктам анодных электрохимических реакций относятся серная, соляная и азотная кислоты. Последняя образуется из примесей нитратов щелочных и щелочноземельных металлов. К нестабильным соединениям, обладающим большой окислительной силой, относятся пероксид водорода, хлорноватистая, хлористая, хлорноватая, хлорная, надсерные кислоты, пероксосульфаты, пероксокарбонаты, перхлораты натрия и калия, оксиды хлора и промежуточные соединения в процессе самопроизвольного распада названных веществ.

К структурным факторам реакционной активности воды после анодной электрохимической обработки относятся изменение концентрации и состава растворенных газов, гидратные оболочки нестабильных соединений, иная организация водородных связей в объеме воды и вокруг клатратов, содержащих растворенные газы в неравновесных концентрациях.

В момент протока воды в кольцевом зазоре между электродом и диафрагмой катодной и анодной камер электрохимического реактора синтезируются активные вещества. Каждый микробъем воды, протекающей в камерах реактора, соприкасается с поверхностью электрода, обогащаясь высокоактивными продуктами электрохимических реакций. У поверхности электрода вода подвергается интенсивному воздействию электрического поля в двойном электрическом слое, образованном зарядами на

электроде и противоионами. Под влиянием электрического поля происходит неравновесное изменение структуры воды. Структурная сетка водородных связей разрыхляется, молекулы воды обретают дополнительные степени свободы, что обеспечивает высокую проникающую способность активированной воды.

Не сложное и удобное в использовании электротехнологическое оборудование уже производится серийно в Российской Федерации и в других странах. Например, установки для подготовки и очистки воды (Алмаз-250-9; Алмаз-250-11; Алмаз-250-15 и др.) обеспечивают обеззараживание питьевой воды, удаление или деструкцию токсических элементов и соединений, направленное изменение окислительно-восстановительного потенциала и повышение биологической ценности воды при сохранении нейтральных кислотно-щелочных характеристик. При этом организм защищается от действия токсических окислителей, поступающих из потребляемой жидкости, пищи и воздуха, усиливается биологическое действие витаминов, улучшается работа печени, укрепляется иммунитет, повышается устойчивость организма к облучению. Сохраняется количество биологически полезных микро и ультрамикроэлементов (кальция, магния, калия, лития, фтора и др.). Для реализации технологии используют серийные электролизные установки (индекса ЭН - 5 и др.), специальные малогабаритные аппараты типа «Эсперо» с производительностью до  $0,05\text{ м}^3/\text{ч}$ , установки типа «СТЭЛ» производительностью  $0,02\text{--}0,035\text{ м}^3/\text{ч}$ . Известна электроактивационная установка Зерноградского НПП «Феникс» производительностью до  $0,1\text{ м}^3/\text{ч}$ , установка типа УЭВ производительностью  $2\text{--}10\text{ м}^3/\text{ч}$ , установки УЭВХАВР – 4 и Я8 -ФЭА производительностью  $2\text{ м}^3/\text{ч}$  [94, 95, 96, 97] и др.

## **7. 2. Математическая модель процесса электротехнологической обработки воды**

Параметры электротехнологического оборудования для электроактивации воды должны быть обоснованы исходя из физико-химических основ процесса электроактивации, а также необходимых свойств воды.

Если на границе раздела фаз (проводник первого и второго рода) протекает только одна электрохимическая реакция, то масса вещества, претерпевшего изменение, в соответствии с законом Фарадея пропорциональна количеству прошедшего через эту границу электричества. Однако, такое условие может соблюдаться крайне редко, поэтому масса выделившегося вещества будет зависеть от его выхода по току [76]. В общем случае

$$dm_i = q_i i_i(t) dt , \quad (7.12)$$

где  $dm_i$  - приращение массы  $i$ -того вещества, г;  
 $q_i$  - электрохимический эквивалент  $i$ -того вещества, равный отношению его эквивалентной массы к числу Фарадея и показывающий какое количество вещества претерпело превращение при прохождении через границу раздела фаз единицы количества электричества, г/(Кл);  
 $i_i(t)$  - мгновенное значение силы тока, приходящейся на получение  $i$ -того вещества в функции от времени, А;  
 $dt$  - приращение времени обработки, с.

Представив массу  $i$ -того вещества как произведение его концентрации на объем раствора и поделив обе части уравнения (2.1) на  $q_i$  получим:

$$V_l \frac{d c_i}{q_i} = i_i(t) dt , \quad (7.13)$$

где  $V_l$  - потребный объем католита или анолита,  $\text{дм}^3$ ;  
 $d c_i$  - приращение концентрации  $i$ -того вещества,  $\text{г}/\text{дм}^3$ ;

Очевидно, что ток на одном из последовательно включенных в цепь электродов пропорционален сумме концентраций в анолите или католите веществ, полученных в результате течения первичных электрохимических реакций. Если сумму отношений концентраций этих веществ к их электрохимическим эквивалентам обозначить через  $B$ , то приращение этой величины может быть определено по формуле:

$$dB = \sum_{i=1}^n \frac{d c_i}{q_i} , \quad (7.14)$$

где  $n$  - количество первичных электрохимических реакций.

Течение электрохимического процесса всегда связано с потерями химической энергии в результате выхода продуктов электролиза в газовую фазу и протекания реакций взаимной нейтрализации активных компонентов растворов. Поэтому в уравнение (7.14) целесообразно ввести учитывающий эти потери коэффициент  $k_I$ , который в свою очередь является функцией от величины  $B$ . Если предположить, что эта функция непрерывна на отрезке  $[0...B_I]$ , соответствующем изменению концентраций веществ от  $c_i = 0$  до  $c_i = C_{iI}$ , то после интегрирования уравнения (2.2) получим

$$V_I \int_0^{B_I} k_I(B) dB = \int_0^{t_I} i(t) dt \quad (7.15)$$

где  $k_I$  - значение коэффициента, учитывающего потери химической энергии в результате взаимной нейтрализации активных компонентов растворов и их выхода в газовую фазу.

Степень влияния реакций взаимной нейтрализации кислых и щелочных компонентов анолита и католита на общий энергетический баланс ячейки в начальной стадии процесса незначительна. В тоже время, при повышении концентрации хлора увеличивается его выход в газовую фазу, а при увеличении разности рН анолита и католита возрастает доля участия ионов воды в переносе тока. Поэтому значение коэффициента  $k_I$ , рассчитанное по различным данным, колеблется в пределах от 1 до 3.

Процесс электроактивации является нестационарным. Падение напряжения на ячейке зависит от целого ряда постоянно изменяющихся факторов. Наиболее предпочтительным способом обеспечения необходимых качественных и количественных параметров процесса является поддержание постоянного тока электроактиватора. Принимая условия постоянства тока на ячейке можем записать

$$V_I \int_0^{B_I} k_I(B) dB = I \int_0^{t_I} dt = I t / t = I t_I, \quad (7.16)$$

где  $I$  - ток электроактиватора, А;

$t_I$  - граничное значение интервала интегрирования функции, соответствующее времени обработки раствора, с.

Баланс напряжений ячейки может быть представлен в виде уравнения [110]

$$U = E_p^a - E_p^k + \varphi_a + \varphi_k + E_{кн} + E_\delta + \Sigma IR , \quad (7.18)$$

где  $U$  - общее напряжение на ячейке, В;

$E_p^a, E_p^k$  - потенциалы анодной и катодной реакции, В;

$\varphi_a, \varphi_k$  - перенапряжение выделения веществ на аноде и катоде, В;

$E_{кн}$  - концентрационная поляризация электролита, В;

$E_\delta$  - диффузионный потенциал, В;

$\Sigma IR$  - падение напряжения в электролите, в проводниках первого рода (контактах и электродах), диафрагме, В.

Электрическая энергия, подводимая к ячейке, при условии, что процесс электроактивации протекает при постоянном давлении, затрачивается на общее изменение внутренней энергии системы в ходе электролиза с учетом потерь химической и тепловой энергии с уходящими газами и через внешнее ограждение электроактиватора

$$W = W_{вн} + W_{ном} , \quad (7.19)$$

где  $W$  – энергия, затраченная на обработку раствора, Дж;

$W_{вн}$  - изменение внутренней энергии системы, Дж;

$W_{ном}$  - потери энергии с уходящими газами и через стенки ячейки, Дж.

Изменение внутренней энергии раствора может быть описано следующим уравнением

$$W_{вн} = \Delta G_{зх} + \Delta G_{нр} + W_m , \quad (7.20)$$

где  $\Delta G_{зх}$  - свободная энергия, образующихся в результате вторичных электрохимических реакций, веществ, Дж;

$\Delta G_{нр}$  - изменения изобарно-изометрического потенциала при переносе вещества из раствора с активностью  $\alpha_1$  в раствор с активностью  $\alpha_2$ , Дж;

$W_m$  - теплота, выделяющаяся при протекании тока через раствор и в результате течения химических реакций, Дж.

Дифференциал изобарного потенциала имеет вид

$$\Delta G_{\text{эx}} = - S dT + \sum \mu_i dn_i , \quad (7.21)$$

где  $S$  - энтропия, Дж/(моль · К);

$T$  - температура, К;

$\mu_i$  - химический потенциал вещества, Дж/моль;

$n_i$  - число молей  $i$  - того компонента.

При равновесном состоянии, соответствующем напряжению разложения  $\sum \mu_i dn_i \approx 0$ . Поэтому интенсивность образования веществ зависит от величины перенапряжения на катоде и аноде. В тоже время перенапряжение связано с потерями энергии, а его величина пропорциональна тепловому эффекту электрохимических реакций.

Изменения изобарного потенциала при переносе вещества из раствора с активностью  $\alpha_1$  в раствор с активностью  $\alpha_2$  на прямую связано с явлением поляризации электролита и может быть описано уравнением

$$\Delta G_{\text{np}} = RT \ln(\alpha_1 / \alpha_2) , \quad (7.22)$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/(моль К));

$(\alpha_1 / \alpha_2)$  - отношение активностей католита и анолита.

Этот процесс сопровождается тепловым эффектом разбавления, который равен изменению энтальпий соответствующих компонентов раствора.

Концентрационная поляризация, обусловленная работой гальванического элемента с ЭДС, направленным против ЭДС источника, пропорциональна отношению концентраций веществ в анолите и католите:

$$E_{\text{кп}} = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_1}{C_2} , \quad (7.23)$$

где  $E_{\text{кп}}$  - концентрационная поляризация, В;

$T$  - температура, К;

$n$  - количество вещества участвующего в реакции, моль;

$F$  - число Фарадея ( $F = 96500$  Кл/моль);

$C_1; C_2$  - концентрации веществ в анолите и католите, моль/л.

Приняв условие ( $\alpha_1/\alpha_2 = C_1/C_2$ ), из уравнений (7.22, 7.23) получим количество электричества, протекающее через ячейку

$$Q = \frac{\Delta G_{np}}{E_{кп}} \text{ , Кл.} \quad (7.24)$$

Аналогичные зависимости могут быть получены и для электродвижущей силы диффузионного элемента, которая возникает на границе раздела католита и анолита в результате различия чисел переноса аниона и катиона

$$E_0 = \delta_a \frac{C_1}{C_2} \ln \frac{RT}{nF} + \delta_k \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_2}{C_1} \text{ , В,} \quad (7.25)$$

где  $\delta_k$ ;  $\delta_a$  - числа переноса катиона и аниона соли.

Электроактивационное оборудование обычно работает в непрерывном режиме, что в сочетании с невысокой длительностью процесса, позволяет говорить о небольших потерях тепла через стенки электроактиватора. Поэтому основным источником потерь является химическая энергия уходящих из раствора электролизных газов, которая может быть определена по величине изменения свободной энергии процесса образования воды из водорода и кислорода ( $\Delta G_6$ ). Изобарно-изометрический потенциал процесса разложения воды связан с теоретическим напряжением этого процесса уравнением

$$E_0 = E_p^a - E_p^k = \frac{\Delta G_6}{nF} \text{ ,} \quad (7.26)$$

где  $E_0$  - теоретическое напряжение разложения, В;

$E_p^a$ ,  $E_p^k$  - равновесные потенциалы электродных реакций, В;

$\Delta G_6$  - свободная энергия, Дж;

Равновесные потенциалы катодного и анодного процессов становятся более отрицательными с ростом pH и могут быть высчитаны по уравнению Нерста:

$$E_p^a = E_o^a + \frac{2,3RT}{F} \lg H^+_{a} \text{ ,} \quad (7.27)$$

$$E_p^k = E_o^k + \frac{2,3RT}{F} \lg H^+_{k} \text{ ,} \quad (7.28)$$

где  $E_o^a$ ,  $E_o^k$  - стандартные потенциалы анодной и катодной реакции, В.

В соответствии с уравнением Гиббса - Гельмгольца теоретическое напряжение разложения снижается при увеличении температуры, кроме того растворяющиеся газы (хлор и кислород) вступают в химические реакции, которые протекают с выделением тепла. Однако, абсолютное значение энтальпии процесса образования воды из газов выше свободной энергии этого процесса поэтому электролиз воды всегда идет с поглощением тепла. Из этого следует, что потери энергии с уходящими газами могут считаться пропорциональными равновесным потенциалам катодной и анодной реакции.

Анализируя вышесказанное можно сделать вывод, что величины составляющих энергетического баланса ячейки пропорциональны соответствующим составляющим баланса напряжений

$$\frac{W}{U} = \frac{W_{ном}}{E_p^a - E_p^k} = \frac{W_{ен}}{\varphi_a + \varphi_k + E_{кн} + E_o + \Sigma IR} \quad (7.29)$$

Наибольшее изменение энтропии системы происходит в процессе изменения агрегатного состояния вещества при образовании электролизных газов. Поэтому изменение внутренней энергии раствора может быть принято равным тепловому эффекту реакции. Тогда

$$dW_{ен} = dH = a(T) m dT, \quad (7.30)$$

где  $dH$  - изменение энтальпии системы, Дж;

$m$  - масса полученного раствора, кг;

$a(T)$  - значение удельной теплоемкости раствора, Дж/(кг·К);

$dT$  - приращение температуры раствора, К.

В соответствии с законом Джоуля - Ленца запишем

$$\frac{I^2 r(t) dt}{U(t)} = \frac{a(T) m dT}{k_2(T)(IR(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{кн}(T))}, \quad (7.31)$$

где  $r(t)$  - сопротивление ячейки в функции от времени, Ом;

$U(t)$  - падение напряжения на ячейке в функции от времени, В;

$k_2(T)$  - значение коэффициента, учитывающего изменение удельного сопротивления электролита за счет газонаполнения и наличия диафрагмы, а также увеличение теплового эффекта за счет взаимной нейтрализации активных компонентов католита и анолита в функции от температуры;

$\varphi_a(T)$ ,  $\varphi_k(T)$ ,  $e_{kn}(T)$ ,  $e_o(T)$  - значения перенапряжения выделения веществ на аноде и катоде, концентрационной поляризации электролита и диффузионного потенциала в функции от температуры, В;

Падение напряжения в электролите составит

$$IR = \frac{IZl}{S} = jZl, \quad (7.32)$$

где  $Z$  - удельное сопротивление электролита, Ом м;

$l$  - межэлектродное расстояние, м;

$S$  - площадь поперечного сечения ячейки, м<sup>2</sup>;

$j$  - плотность тока на ячейке, А/м<sup>2</sup>.

Тогда, пренебрегая потерями в проводниках первого рода, в соответствии с законом Ома для участка цепи, получим

$$\frac{I^2 r(t) dt}{I r(t)} = \frac{a(T) m dT}{k_2(T)(j l z(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{kn}(T) + e_o(T))}, \quad (7.33)$$

где  $z(T)$  - значение удельного сопротивления раствора, Ом·м.

Представим массу потребного раствора как произведение его плотности на объем, после интегрирования получим

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{V p(T) a(T) dT}{k_2(T)(j l z(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{kn}(T) + e_o(T))} = I \int_0^{t_1} dt, \quad (7.34)$$

где  $V$  - суммарный объем анолита и католита, дм<sup>3</sup>,

$p(T)$  - плотность раствора в функции от температуры, кг/ дм<sup>3</sup>.

Приняв условие равенства производительности электроактиватора по католилу и анолилу запишем

$$B = B_A = B_K, \quad (7.35)$$

где  $B_A$ ,  $B_K$  - удельные затраты количества электричества соответственно для анолита и католита, Кл / дм<sup>3</sup>.

В соответствии с уравнением (7.15)

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{V p(T) a(T) dT}{k_2(T)(j l z(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{kn}(T) + e_o(T))} = V_1 \int_0^{B_1} k_1(B) dB \quad (7.36)$$

Поделив обе части уравнения на  $V_1$  получим

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{2 \rho(T) a(T) dT}{k_2(T)(j l z(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{kn}(T) + e_o(T))} = \int_0^{B_1} k_1(B) dB \quad (7.37)$$

Данное уравнение определяет соотношение теплового и химического эффекта электрохимического процесса. При этом, левая его часть представляет собой удельные затраты количества электричества, выраженные через количество теплоты, затраченное на нагрев единицы объема раствора, а правая - через количество химической энергии, обеспечивающей получение заданной концентрации химических веществ.

Верхние пределы интегральных функций зависимости потребного количества электричества от температуры раствора и от концентрации действующих веществ могут быть определены исходя из требований, предъявляемых к получаемой воде. Такой подход, при условии, что  $k_1 = const$ , позволяет записать

$$\int_0^{B_1} k_1(B) dB = k_1 \int_0^{B_1} dB = k_1 B_1 = k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i}, \quad (7.38)$$

где  $C_i$  - концентрация  $i$ -того вещества в растворе, г/дм<sup>3</sup>.

В соответствии с правилом Дюлонга и Пти атомная теплоемкость большинства простых веществ близка по значению. Процесс электроактивации обычно ведется при постоянном давлении и может условно считаться изобарическим. Поэтому изменения удельной теплоемкости также как и плотности раствора не могут оказать существенного влияния на динамику процесса, а их значения могут быть приняты соответствующими верхнему пределу интегральной функции, который в свою очередь определяется потребным приращением температуры воды. Тогда, если принять условие, что  $k_2 = const$ , выражение (7.37) принимает вид

$$2\rho_2 a_2 \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{k_2(T)(j l z(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{kn}(T) + e_o(T))} =$$

$$= k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i},$$

где  $\rho_2$  - плотность раствора (кг/ дм<sup>3</sup>) при температуре  $T_2$ ;  
 $a_2$  - удельная теплоемкость раствора (Дж / (кг·К)) при температуре  $T_2$ .

Задаваясь граничными значениями интервала интегрирования, которые будут соответствовать начальной и конечной температуре раствора, в соответствии с формулой о среднем значении интеграла можем записать

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{k_2(T)(j l z(T) + \varphi_a(T) + \varphi_k(T) + e_{kn}(T) + e_o(T))} =$$

$$=(k_2(T_c)(j l z(T_c) + \varphi_a(T_c) + \varphi_k(T_c) + e_{kn}(T_c) + e_o(T_c)))(T_2 - T_1), \quad (7.40)$$

где  $T_c$  - температура раствора, соответствующая среднему значению интегральной функции, К.

Очевидно, что составляющие данного уравнения представляют собой сложные функции от концентрации действующих веществ. В тоже время, приращение кислотности анолита и щелочности католита идет наиболее интенсивно в начале процесса обработки. Кроме того, зависимость рН от концентрации водородных ионов имеет экспоненциальный вид, поэтому значение поляризационного потенциала может быть принято соответствующим необходимой кислотности получаемых растворов. Зависимость удельного сопротивления от температуры для мало концентрированных электролитов на отрезке до 60<sup>0</sup> С имеет вид близкий к линейной. Поэтому можем принять условие:

$$T_c = (T_2 - T_1) / 2., \quad (7.41)$$

С учетом принятых допущений, уравнение (7.39) примет вид:

$$\frac{2 \rho_2 a_2 (T_2 - T_1)}{k_2 (j l Z_c + \varphi_{ac} + \varphi_{kc} + E_{пол})} = k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i}, \quad (7.42)$$

где  $Z_c$  - среднее значение удельного сопротивления раствора в интервале температур  $[T_1...T_2]$ , Ом·м;

$\varphi_{ac}$ ,  $\varphi_{kc}$ ,  $E_{пол}$  - значения перенапряжения выделения веществ на аноде и катоде, а также общего потенциала поляризации электролита, соответствующие среднему значению интервала температур  $[T_1...T_2]$ , В.

Для цилиндрической системы запишем

$$\frac{2 \rho_2 a_2 (T_2 - T_1)}{k_2 (R_1 j Z_c \ln \frac{R_2}{R_1} + \varphi_{ac} + \varphi_{kc} + E_{пол})} = k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i}, \quad (7.43)$$

где  $R_1 R_2$  - радиусы внутреннего и наружного электродов, м.

Уравнения (7.42, 7.43) могут быть использованы для расчета геометрических или электрических параметров электроактиватора в зависимости от начальных условий процесса и требуемых свойств получаемой воды. Очевидно, что увеличивая  $l$ ,  $Z$  или разницу радиусов ( $R_2 - R_1$ ) можно увеличить долю теплового эффекта и наоборот, с уменьшением межэлектродного расстояния и увеличении концентрации электролита будет повышаться доля химической энергии в общем балансе ячейки.

Необходимо отметить, что значительное увеличение концентрации электролита приводит к усугублению последствий концентрационной поляризации и увеличению доли участия материала анода в электрохимических реакциях, а также смещению баланса между образующимися кислотами и хлором в сторону последнего.

На практике при использовании жестких диафрагм межэлектродное расстояние удается уменьшить до нескольких миллиметров и привести его в соответствие с диаметром обращения части воды в микроториодальных потоках или к размеру, как минимум, трех диаметров газовых пузырьков. Однако, уменьшение межэлектродного расстояния до размеров приэлектродных зон часто приводит к существенному увеличению газона-

полнения и возникновению капиллярных и расклинивающих эффектов, препятствующих свободному течению раствора с газовыми пузырями. Кроме того, при обработке воды с высокой концентрацией растворенных солей эффективность работы ячейки существенно снижается за счет формирования катодных отложений, препятствующих как протеканию тока, так и свободному потоку воды.

Подогрев воды в результате электролитической обработки выступает как позитивный фактор, поскольку снижает температурный стресс при поении и риск возникновения респираторных заболеваний. Однако, ориентация процесса электроактивации на существенное приращение температуры также не целесообразна в следствии существенных потерь в трансформаторе и выпрямителе. Поэтому при рассмотрении технологии необходимо говорить не о производстве тепла, а лишь о его эффективном использовании. При необходимости существенного приращения температуры раствора, целесообразно использовать его подогрев одним из известных способов.

### **7.3. Методика проектирования и расчета электротехнологического оборудования**

Рекомендуются следующие этапы проектирования электротехнологической установки для обработки воды на свиноводческом комплексе:

- Согласование и разработка технологической схемы подготовки воды в одном из помещений комплекса.
- Расчет основных параметров электротехнологического оборудования.
- Разработка гидравлической схемы установки.
- Разработка электрической схемы и схемы автоматического управления процессом.
- Разработка монтажной схемы установки.

Согласование и разработка технологической схемы подготовки воды проводится с учетом особенностей конструкции инженерных (водопроводной и электрической) сетей. При этом учитывались возможности размещения разработанного оборудо-

вания на свободных площадях помещений без нарушения технологического процесса производства продукции.

Расчет основных параметров электротехнологического оборудования для обработки воды проводится по разработанной на кафедре технического обеспечения производства и переработки продукции животноводства УО «ГГАУ» методике.

Суточная потребность в воде определяется исходя из норм водопотребления животными:

$$A_{cp\ сум} = \sum_{i=1}^n m_i p_i \quad , \quad (7.44)$$

где  $A_{cp\ сум}$  – суточный расход воды на поение животных,  $\text{дм}^3$ ;

$m_i$  – количество животных в группе;

$p_i$  – норма воды на одно животное,  $\text{дм}^3$ .

Расчет удельного количества электричества для получения необходимой концентрации действующих веществ производится по результатам анодных и катодных первичных реакций. Для хлорсодержащих солей характерно одновременное конкурентное выделение кислорода и хлора, поэтому

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{iA}}{q_i} = \frac{C_{Cl}}{0,000367} + \frac{C_{O_2}}{0,000083} \quad , \quad (7.45)$$

где  $C_{iA}$  – потребная концентрация действующих веществ в анолите,  $\text{г/дм}^3$ .

$C_{Cl}$  – концентрация активного хлора,  $\text{г/дм}^3$ ;

$C_{O_2}$  – концентрация кислорода, которая могла бы быть достигнута, если бы весь образовавшийся газ остался в растворе,  $\text{г/дм}^3$ ;

$0,000367; 0,000083$  – электрохимические эквиваленты, соответственно, хлора и кислорода ( $\text{г/Кл}$ ), были определены из выражения:

$$q = \frac{m_{\text{э}}}{F} = \frac{m_{\text{моль}}}{n F} \quad , \quad (7.46)$$

где  $m_{\text{э}}$  – эквивалентная масса вещества,  $\text{г/моль}$ ;

$F$  – число Фарадея,  $\text{Кл/моль}$ ;

$m_{\text{моль}}$  – молярная масса вещества,  $\text{г}$ ;

$n$  – валентность вещества.

Условная концентрация кислорода определяется из выражения:

$$C_{O_2} = 1/2 [H^+] M_{O_2} , \quad (7.47)$$

где  $1/2$  - химический эквивалент кислорода;

$M_{O_2}$  - мольная масса атомарного кислорода, (15,99 г/моль);

$[H^+]$  - концентрация водородных ионов (моль/дм<sup>3</sup>), которая может быть определена исходя из рН воды ( $pH = - \lg [H^+]$ ).

Исходя из ионного равновесия воды

$$C_H = [OH^-] \cdot M_H = \frac{10^{-14} \cdot M_H}{[H^+]}, \quad (7.48)$$

где  $C_H$  - условная концентрация водорода, которая могла бы быть достигнута, если бы весь газ остался в растворе, г/дм<sup>3</sup>;

$[OH^-]$  - концентрация гидроксид ионов в катодите, г/дм<sup>3</sup>;

$M_H$  - мольная масса атомарного водорода (1,01 г/моль).

Определяем рН катодита

$$pH_k = 14 + l \left( \frac{0,00011}{M_H} \sum_{i=1}^n \frac{C_{iA}}{q_i} \right), \quad (7.49)$$

где  $0,00011$  - электрохимический эквивалент водорода, г/Кл.

Значение коэффициента  $k_l$  принимаем ( $k_l \approx 2,5$ ). Тогда общий ток определяется как

$$I = k_l \frac{V_l}{t} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i}, \quad (7.50)$$

где  $I$  - ток электроактиватора, А;

$k_l$  - коэффициент, учитывающий потери химической энергии в результате нейтрализации активных компонентов;

$V_l$  - требуемый объем воды, дм<sup>3</sup>;

$t$  - технологическое время на обработку воды, с.

Общая площадь анода

$$S = \frac{I}{j}, \quad (7.51)$$

где  $S$  - суммарная площадь анодов, м<sup>2</sup>;

$j$  - анодная плотность тока, А/м<sup>2</sup>.

Равновесные потенциалы анодной и катодной реакции определяются по стандартным потенциалам разложения воды:

$$E_a = 1,23 - \frac{2,3 RT pH_a}{F}, \quad (7.52)$$

$$E_k = - \frac{2,3 RT pH_k}{F}, \quad (7.53)$$

где  $E_a$ ;  $E_k$  - равновесные потенциалы анодной и катодной реакций, В;

1,23 - электродный потенциал выделения кислорода, В;

$T$  - температура воды, К.

Концентрационная поляризация

$$E_{\text{кон}} = \frac{2,3 RT}{F} \lg \lg H^+_a - \lg H^+_k = \frac{2,3 RT (pH_k - pH_a)}{F}, \quad (7.54)$$

где  $H^+_a$ ;  $H^+_k$  - концентрация водородных ионов в анолите и католите, моль /л.

2,3 - коэффициент перевода в десятичные логарифмы;

$pH_a$ ;  $pH_k$  - водородный показатель анолита и католита, соответственно.

Электродвижущая сила диффузионного элемента

$$E_{\delta} = \delta_a \frac{RT}{F} \ln \frac{C_1}{C_2} + \delta_k \frac{RT}{F} \ln \frac{C_2}{C_1} = \delta_a \frac{2,3 RT (pH_k - pH_a)}{F} - \delta_k \frac{2,3 RT (pH_a - pH_k)}{F} = (\delta_k - \delta_a) \frac{2,3 RT (pH_k - pH_a)}{F}. \quad (7.55)$$

Числа переноса катиона и аниона соли определяются из их подвижностей:

$$\delta_a = \lambda_a / (\lambda_a + \lambda_k); \quad (7.56)$$

$$\delta_k = \lambda_k / (\lambda_k + \lambda_a), \quad (7.57)$$

где  $\lambda_a$ ;  $\lambda_k$  - подвижности аниона и катиона, Ом<sup>-1</sup> см<sup>2</sup>/ г экв.

Общий потенциал поляризации

$$E_{пол} = (1 + (\delta_{\kappa} - \delta_a)) = \frac{2,3RT (pH_{\kappa} - pH_a)}{F}, \quad (7.58)$$

где  $E_{пол}$  - общий потенциал поляризации ячейки, В.

Удельное сопротивление раствора:

$$Z = Z_0 \frac{1}{1 + k_3(T - T_0)}, \quad (7.59)$$

где  $Z_0$  - удельное сопротивление раствора при стандартных условиях, Ом·м;

$k_3$  - температурный коэффициент;

$T_0$  - температура воды, принятая за стандартную, К.

Межэлектродное расстояние плоскопараллельной системы

$$l = \frac{2 \rho a (T_2 - T_1) - k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i} k_2 (k_2 \varphi_{ac} + \varphi_{\kappa c} + E_{пол})}{k_2 j Z - k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i}} + \Delta D, \quad (7.60)$$

где  $\Delta D$  - толщина диафрагмы, м;

$Z_c$  - среднее значение удельного сопротивления воды в интервале температур  $[T_1...T_2]$ , Ом·м.

Для цилиндрической системы

$$R_2 = R_1 \exp \left\{ \frac{2 \rho a (T_2 - T_1) \cdot k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i} + k_2 (\varphi_a + \varphi_{\kappa} + E_{пол})}{R_1 k_2 j Z_c - k_1 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{q_i}} \right\} + \Delta D, \quad (7.61)$$

Падение напряжения в электролите для плоскопараллельной системы

$$IR_{\Omega} = j l Z, \quad (7.62)$$

где  $IR_{\Omega}$  - падение напряжения в электролите, В.

Для цилиндрической системы

$$IR_{\ominus} = R_1 j Z_c \ln \frac{R_2}{R_1}, \text{ В} \quad (7.63)$$

Общее падение напряжения на ячейке

$$\begin{aligned} U &= E_p^a - E_p^k + k_2(\varphi_a + \varphi_k + E_{\text{нол}} + IR) = \\ &= 1,23 - \frac{2,3RTpH_a}{F} + \frac{2,3RTpH_k}{F} + \\ &+ k_2(\varphi_a + \varphi_k + (1 + (\delta_a - \delta_k)) \frac{2,3RT(pH_k - pH_a)}{F} + IR_{\ominus}), \text{ В} \end{aligned} \quad (7.64)$$

Потребляемая мощность

$$P = U \cdot I, \text{ Вт} \quad (7.65)$$

Размеры электролизных камер плоскопараллельной системы выбираются исходя из условий

$$\frac{l_K}{l_A} = \frac{[OH_K^-] \lambda_{OH}}{[H_A^+] \lambda_H}, \quad (7.66)$$

где  $l_K; l_A$  - поперечное сечение катодной и анодной камер, м.  
 $[OH_K^-]; [H_A^+]$  - соответственно, концентрация ионов водорода в анолите и гидроксид ионов в католите, моль/дм<sup>3</sup>;

$\lambda_{OH}; \lambda_H$  - подвижность ионов, Ом<sup>-1</sup> см<sup>2</sup>/ моль;  
 $E_{KC}; E_{AC}$  - средние значения напряженности электрического поля в катодной и анодной камерах электроактиватора, В/м.

Для коаксиальной цилиндрической системы

$$\frac{R_2 - R_D}{R_D - R_1} = \frac{[OH_K^-] \lambda_{OH}(R_c - R_1)}{[H_A^+] \lambda_H(R_2 - R_c)}, \quad (7.67)$$

где  $R_D$  - радиус диафрагмы, м.

$R_c$  - радиус ячейки, соответствующий среднему значению напряженности электрического поля, м.

$$R_c = \frac{IZ}{\frac{2\pi H I Z}{2\pi H(R_2 - R_1)} \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{(R_2 - R_1)}{\ln \frac{R_2}{R_1}}, \quad (7.68)$$

где  $H$  - высота ячейки, м;

$$R_D = \frac{R_2 + 0,51R_1}{1,51} \text{ м ,} \quad (7.69)$$

Разработка гидравлической схемы установки проводится с учетом возможности обеспечения гидравлических связей элементов установки при различных режимах (включая аварийный) работы установки.

Разработка электрической схемы и схемы автоматического управления процессом проводится с учетом требований безопасности при использовании электротехнологического оборудования в животноводстве, а также с учетом необходимости полной автоматизации процесса работы, в том числе в случае возникновения форс-мажорных обстоятельств (отключение электропитания, перебои в водоснабжении и тд.)

Разработка монтажной схемы установки проводится с учетом необходимости обеспечения всех гидравлических и электрических связей, компактного размещения элементов установки, максимальной доступности элементов при проведении технического обслуживания и ремонта, а также минимизации опасности травматизма людей и животных.

#### **7.4. Экспериментальное исследование электротехнологии обработки воды**

Проверка эффективности использования электротехнологии обработки воды проводилась на базе типового свиноводческого комплекса мощностью 24 тысячи свиней годового выращивания и откорма. Расположение и конфигурация производственных помещений, а также структура инженерных сетей на комплексе позволяет включить в систему водоснабжения отдельного помещения электротехнологическую установку для обработки воды. Имеется также возможность отдельной подачи воды по рядам секции. При этом не требуется существенной доработки и изменения системы водоснабжения.

Предлагаемая система водоподготовки наиболее востребована в помещениях цеха репродукции используемых для опоро-

са свиноматок и содержания поросят на дорастивании. Условия комплекса, расположение помещений и инженерных сетей позволяют применить следующую схему реализации процесса подготовки воды для поения животных (рис. 7.2).

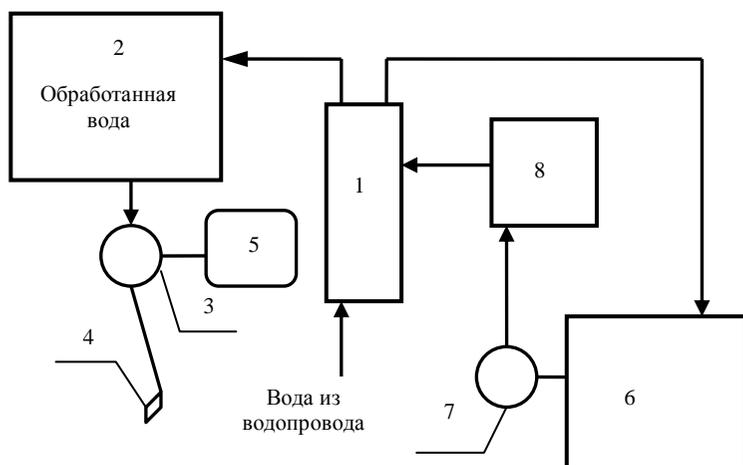


Рис. 7.2. Схема подготовки и подачи воды:

1 - электролизер; 2 – накопительный резервуар; 3,7 – насосы  
4 - поилка; 5 - гидропневматический бак; 6,8 – баки для растворов;

Вода из водопровода поступает в диафрагменный электролизер 1 с пассивным анодом, подсоединенный к встроенному импульсному источнику питания, где подвергается электролитической обработке с плавным регулированием кислотности и содержания активных компонентов. Подкисленная и продезинфицированная вода подается в накопительный резервуар 2, откуда поступает при помощи насоса 3 к поилкам 4.

Гидропневматический бак 5 поддерживает давление в системе в перерывах работы насоса. Дополнительный бак для концентрированного раствора 6 позволяет автоматизировать приготовление маточного раствора. Раствор подается насосом 7, управляемым при помощи реле времени в бак 8, где смешивается с водой в необходимом соотношении. Из бака 8 маточный

раствор водоструйным насосом засасывается в электролизер. Общий вид установки представлен на рис.7.3.



Рис. 7.3 Электротехнологическая установка для обработки воды

Технические характеристики электротехнологической установки представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Характеристики элетротехнологического оборудования

Наименование показателей	Характеристики показателей
Производительность	до 0,4 м <sup>3</sup> /ч
Потребляемая мощность	1,5...2 кВт
Питающее напряжение	постоянное, до 50В
Плотность тока	300...500 А / м <sup>2</sup>
Напряженность электрического поля	3000...7000 В/м
Соотношение камер (катодная / анодная)	$I_K / I_A = 0,7...0,8$
Количество электричества	2000...5000 Кл / м <sup>3</sup>
Расход энергии	2...5 кВтч/ м <sup>3</sup> (7...18 МДж / м <sup>3</sup> )
Параметры воды	рН 5,5...6,5; свободный активный хлор 0,3...0,7 мг / дм <sup>3</sup>

Гидравлическая схема установки включает в себя накопительную емкость для воды, бак для концентрированного раствора, бак для питающего раствора, центробежный водяной насос с приводом от однофазного асинхронного электродвигателя, подкачивающий диафрагменный насос, запорные вентили, электромагнитные клапаны, манометры, счетчик воды, гидропневматический бак, гибкие шланги, водопроводную арматуру.

Водяной насос обеспечивает подачу воды из накопительной емкости и создание необходимого давления в системе. Гидропневматический бак поддерживает необходимое давление в системе в перерывах работы насоса.

Электрическая схема, обеспечивающая возможность работы и эффективного взаимодействия элементов установки в автоматическом режиме.

Электромагнитные клапаны обеспечивают подачу воды к электролизеру, отключение установки при заполненной накопительной емкости, а также бесперебойную подачу воды в систему в обход установки в аварийном режиме (отключение электрической энергии, сбой в работе установки) и во время проведения регламентных работ по текущему ремонту и техническому обслуживанию. Реле давления управляют насосом и работой электромагнитного клапана.

Система автоматического управления обеспечивает контроль уровня воды в накопительной емкости, давление в системе внутреннего водопровода, управляет работой насосов и клапанов. Автоматика также обеспечивает поддержание необходимой концентрации питающего раствора. Предусмотрена автоматическая защита от нештатных ситуаций, связанных с перебоями в электропитании и водоснабжении производственных зданий. В случае выхода из строя установки, водоснабжение автоматически восстанавливается по обычной схеме. Защита от поражения электрическим током осуществляется при помощи устройства защитного отключения.

В состав электролизера входят электрохимический блок и источник тока. Основной частью электрохимического блока установки является электрохимический реактор. Реактор представляет собой блок гидравлически параллельно соединенных электролитических элементов. В электролитическом элементе применены химически стойкие материалы. Анод элемента изготовлен из титана с покрытием, в состав которого входят иридий, платина, рутений. Титановый катод имеет повышенную каталитическую активность за счет специальной обработки поверхности. Ультрафильтрационная керамическая диафрагма из оксидов циркония, иттрия и алюминия находится между анодом и катодом элемента и не допускает смешивания воды в анодной и катодной камерах. В то же время диафрагма обеспечивает беспрепятственную миграцию ионов в электрическом поле между анодом и катодом. Кроме того, в электрохимическом блоке размещены водоструйный насос, выполняющий роль дозатора солевого раствора, вентиль "католит" для регулирования объемного расхода католита, производимого в установке и вентиль "раствор" для регулирования количества питающего раствора, добавляемого в протекающую через водоструйный насос водопроводную воду.

Источник тока представляет собой выпрямитель с понижающим трансформатором и амперметром. Конструкция элементов вместе с технологией электролитической обработки воды, предусматривающей оптимальное сочетание минерализации и скорости протока воды в электродных камерах, перепада давления на диафрагме, силы тока и напряжения, позволяют полу-

чать воду необходимого качества при минимальных затратах энергии и исходных веществ.

Результаты проведенных испытаний и научно-производственного опыта по определению влияния обработанной воды на продуктивность животных (табл. 7.2.) позволяют говорить о высокой эффективности применения электртехнологии подготовки воды на свиноводческом комплексе.

Таблица 7.2. Результаты производственного опыта

Показатели	Группы	
	контрольная	Опытная
Продолжительность опыта, дней	40	40
Поголовье на начало опыта, голов	154	152
Передано на откорм, голов	148	149
Выбытие, голов:	6	3
Сохранность, %	96,1	98,02
Средняя живая масса 1 головы в 75 дней, кг	25,83	27,39
Валовой прирост живой массы, ц	26,04	28,36
Среднесуточный прирост, г	439,9	475,8

Среднесуточный прирост увеличился более чем на 7,5%, а валовой прирост в опытной группе выше, чем в контрольной на 8,2%. Повышение продуктивности поросят на дорастивании свидетельствует о более эффективном использовании кормов. Хорошая сохранность молодняка свидетельствует о возможности создания стабильных технологических условий, обеспечивающих снижение вероятности возникновения желудочно-кишечных заболеваний и расстройств, а также возникновения других, в том числе, инфекционных заболеваний. Данный вывод подтверждает и тот факт, что затраты на лечение и профилактику заболеваний в опытной группе животных были ниже, чем в контрольной группе и сократились более чем на 5 % [24].

Повышение эффективности использования кормов объясняется рядом факторов. Во-первых, электролитическая обработка обеспечивает дезинфекцию воды, которая перестает быть источником нежелательной микрофлоры. Присутствие активных компонентов, обладающих бактерицидными свойствами, обеспечивает хорошее санитарное состояние системы водоснабжения по-

мещения. Очевидно, что бактерицидные свойства воды сохраняются и при попадании ее в организм животного.

Электротехнологическая обработка также обеспечивает снижение буферной емкости и мягкое подкисление воды, что позволяет более эффективно использовать кислоты кормовых подкислителей и кислоты собственно продуцируемые в организме животных. Данное обстоятельство позволяет говорить о направленном комплексном и селективном воздействии на микрофлору желудка свиней, с целью ее стабилизации в условиях, когда неокрепший организм поросенка подвержен воздействию микрофлоры, содержащейся в кормах и окружающей среде. Подкисление воды также, вероятно, способствует лучшему сопротивлению организма животного различным стрессобразующим факторам, которые, как правило, являются причиной нарушения механизма выработки кислоты в организме животного и, как следствие, желудочно-кишечных расстройств.

Необходимо также отметить, что животные, как правило, развиваются в условиях недостаточного количества кислорода в воздухе помещений. Данное обстоятельство усугубляется в результате формирования застойных зон с ненормативно низкой скоростью воздуха и воздухообменом. Кроме того, накапливающийся в рабочей зоне аммиак, поступая в легкие и кровь, разлагает гемоглобин, превращая его в щелочной гематин. В результате чего наступает кислородное голодание. В процессе обработки вода насыщается кислородом, который присутствует как в растворенном виде, так и в виде сложных кислородосодержащих химических соединений, что позволяет частично компенсировать его недостаток в крови поросят. Компенсация недостатка кислорода в крови поросят обеспечивает повышение общей резистентности животных, улучшение аппетита, и как следствие – улучшение здоровья и повышение продуктивности.

Химическое действие веществ, образующихся в результате электрохимических реакций, значительно усиливается за счет изменения структуры воды, обеспечивающей лучшую проникающую способность. Вода, выступая в качестве универсального растворителя, обеспечивает интенсификацию обменных процессов в организме животных.

В ходе научно-хозяйственного опыта было также установлено, что разработанная электротехнологическая установка обеспечивает расчетные параметры и позволяет осуществлять процесс обработки и подачи воды в систему в автоматическом режиме. Проведенные испытания подтвердили работоспособность установки и ее отдельных элементов.

Необходимо также отметить, что изменение свойств воды обеспечивает сокращение длительных солевых отложений на внутренних поверхностях и в перспективе позволит увеличить ресурс трубопроводов, поилок и другого оборудования для водоснабжения и автопоения. В тоже время, присутствующие в воде активные компоненты не могут существенно повлиять на работоспособность оборудования, так как их концентрация незначительна и не превышает установленных нормативов.

### **Выводы по главе 7**

Изложенные в настоящей главе теоретические основы и тематическая модель процесса электротехнологической обработки воды позволили разработать методику расчета применяемого оборудования.

Результаты расчета позволили создать оригинальную конструкцию электротехнологической установки, которая обеспечивает обработку, бесперебойную подачу воды и поддержание нормативного давления в системе автопоения.

Электрическая схема и схема автоматического управления обеспечивают надежную и безопасную работу установки, в том числе и в случае возникновения нештатных ситуаций (сбой в системах водоснабжения, электроснабжения комплекса и др.).

Проведенные испытания подтвердили возможность получения воды с заданными параметрами и свойствами. Установка обеспечивает дезинфекцию, обессоливание, умягчение и улучшение структуры, а также мягкое подкисление, снижение буферной емкости и насыщение воды активными продуктами электрохимических реакций (кислород и др.) в допустимых концентрациях. Проведенные испытания также подтвердили работоспособность и надежность установки.

Результаты проведенного производственного опыта подтвердили эффективность использования электротехнологического оборудования для подготовки воды. Среднесуточный и валовой прирост в опытной группе, по сравнению с контрольной, увеличился более чем на 7,5% и 8,2%, соответственно. Затраты на лечение и профилактику заболеваний в опытной группе животных сократились более чем на 5 %.

Повышение продуктивности и сохранности молодняка свидетельствует об эффективном использовании кормов и создании стабильных технологических и санитарных условий производства. Эффективность использования кормов повышается за счет нормализации микрофлоры желудка, которая обеспечивается путем направленного комплексного и селективного воздействия активных компонентов получаемой воды. Подготовка воды также позволяет более эффективно использовать кислоты кормовых подкислителей и кислоты собственно продуцируемые в организме животных, что, в свою очередь, способствует лучшему сопротивлению организма животного стрессам, которые являются причиной желудочно-кишечных расстройств и заболеваний. Изменение физических свойств и высокая химическая активность обработанной воды обеспечивает и интенсификацию обменных процессов в организме животных и способствует повышению их общей резистентности.

Полученные результаты подтверждают высокую экономическую эффективность внедрения электротехнологической установки на свиноводческом комплексе. Годовой экономический эффект от внедрения составляет 39900000 (тридцать девять миллионов девятьсот тысяч) белорусских рублей. Срок окупаемости капиталовложений прибылью составляет 0,38 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение острой проблемы обеспечения животноводства качественной водой зависит от целого ряда факторов, влияющих на эффективность процессов, начиная с выбора источника и заканчивая решением вопросов эксплуатации и технического обслуживания используемого оборудования.

Наряду с высокой надежностью работы систем водоснабжения, важнейшими факторами являются энергоэффективность процесса, а также возможность корректировать технологические свойства воды, используемой для поения животных.

При всем многообразии условий добычи, подъема, хранения, подготовки и распределения воды, современные технические средства позволяют решать сложные многовариантные задачи при наименьших потерях ресурсов и энергии.

Важнейшим аспектом является детальная проработка всех элементов схемы. Использование приведенных методов расчета и выбора оборудования позволит оптимизировать процесс проектирования, производства работ по строительству, монтажу и наладке, а также эксплуатации применяемого оборудования.

Наиболее нагруженным и поэтому уязвимым элементом схемы водоснабжения являются насосы, используемые для подъема воды и создания необходимого технологического напора.

Применение погружных центробежных насосов представляется сложной инженерной задачей, требующей высокой квалификации персонала как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации.

Изложенные теоретические основы работы центробежного насоса позволили получить математические модели сложных процессов и разработать на их базе методы расчета и конкретные рекомендации по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту погружных электронасосных агрегатов.

Предложенные энергосберегающие решения основанные на использовании нового оборудования (бустерных агрегатов и тепловых установок) позволяют существенно повысить эффективность технологических процессов водоснабжения.

Надежность и эффективность использования предлагаемой техники и оборудования напрямую связаны с безопасными условиями их эксплуатации. Опыт показывает, что только при четко отлаженной системе технического обслуживания, ремонта возможна бесперебойная и безопасная работа насосов и других элементов схем водоснабжения.

Важнейшим аспектом технологии является водоподготовка. В животноводстве она должна обеспечивать не только химическую и биологическую чистоту используемой воды, но и придавать воде нужные технологические свойства, определяемые физиологическими особенностями сельскохозяйственных животных. Применение электротехнологии обработки воды позволяет отказаться от дорогостоящих препаратов и существенно повысить эффективность производства продукции животноводства как за счет увеличения продуктивности животных, так и за счет создания благоприятных санитарных условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. "KSB" Aktiengesellschaft. Submersible Motor Pumps. 01/2000.
2. Encapsuiated Submersible Motors 4" Product Information and Service Franklin Electric. – 2004.
3. Iay Lehr. Removes sand to the life of turbine & submersible pumps and help maintan better pump efficiency // Water well Jornal. 1985, №11. – P. 37-40.
4. Lakos pump protection Seeparators //Lakos separators. 1992, 18 p.
5. Saer Elettropompe. Listino prezzi 2001.
6. Water Resources of the Repyblik of Belarus, Their Use and the Quality of Water [Text] / A.N.Kdobaev, E.M. Minchenko, Natural Resources and of the Invvironmental Prection of the Republic of Belarus.- Минск: [S.n].2002.
7. Абдураманов, А.А. Гидроциклонные установки в гидротехнике и мелиорации/ А.А. Абдураманов.- Ташкент: Ташк. инст. нженер. ирригации и механиз. сельк. хоз., 1986. – 98 с.
8. Агрегат электронасосный скважинный: Заявка на патент РБ № а 20030953/Гринцевич З.И., Козорез А.С., Привалов В.К., Гринцевич В.З. заявл. 16.10. 2003.
9. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Каталог. – Минск: Тирас-Н. –2003. – 64 с.
10. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Проспект ОАО "Ливнынасос".
11. Ануш, З. Гигиена воды в животноводстве/ Пер с пол. Г.Н. Мирошниченко; Под ред. С.А. Мичко. – М.: Колос, 1979. – 192с.
12. Белянчиков, Н. Н. Механизация животноводства: учебник / Н. Н. Белянчиков, А. И. Смирнов; под ред. Н. Н. Белянчикова. – Москва: Колос, 1983. – 359 с.
13. Богданов, А. А. Погружные центробежные электронасосы для добычи нефти (расчет и конструирование)/ А. А. Богданов. – М.: Недра. – 1968. – 272 с.

14. Боровик, И.П. Аналитическая справка по перспективам развития производства и потребления погружных электронасосных агрегатов для скважин/ И.П. Боровик. – М: Союз производителей и потребителей насосного оборудования «РОССА» – 1997. – 58 с.
15. Браславский, И.Я. Сравнительный анализ способа регулирования подачи центробежных насосов/. И.Я. Браславский. –М: Электротехническая промышленность. Электропривод– 1983. –№2. – С.8-10.
16. Вагин, Ю.Т. Техническое обеспечение процессов в животноводстве/ Ю.Т. Вагин [и др]. – Минск. Техноперспектива, 2007 –546 с.
17. Васюков, В. Целесообразность и технические возможности применения насосов в скважинах большого диаметра/ В. Васюков/ Автоматизация и Производство. – М.: Информационное обозрение № 33. – 1998. – с 35...37.
18. Вертикальный погружной насосный агрегат: а.с. 589467 СССР, МКИЗ Е 03 В 3/06. / А.И. Жангарин, Н.А. Жангарин, Изтеулов А.Т. (СССР). – №468890; Заявлено 12.12.75; Опубл. 06.02.78, Бюл №3 // Открытия. Изобретения. – 1978. – № 3. – С. 177.
19. Водоочистители-активаторы "Изумруд" - Техническое Описание ООО Научно-производств. предприятие "Изумруд" г. С-Петербург 2003.- 15 с.
20. Ганжа, В.Л. О коэффициенте преобразования энергии в гидродинамическом теплогенераторе «Юрле»/ В.Л. Ганжа, З.С. Пархомова// Энергоэффективность .– 1999 №7.– С.6-9.
21. Глинка, Н.А. Общая химия: Учеб. для вузов/ Н.А.Глинка. – Л.: Химия, 1983. - 704 с.
22. Горгиджан, С.А. Дягилев А.И. Погружные насосы для водоснабжения и водопонижения/ С.А. Горгиджан, А.И.Дягилев. – М: Машиностроение. –1968. –112 с.
23. Государственный водный кадастр/ Сводные данные об эксплуатационных запасах подземных вод и их использовании на территории СССР за 1990 г. – Москва: ВСЕГИНГЕО, 1991. – 215 с.

24. Григорьев, Д.А. Использование электротехнологии подготовки воды на свиноводческой ферме/ Д.А. Григорьев, П.Ф. Богданович// Современные технологии сельскохозяйственного производства: Материалы 10 междунаро. научно-практической конф./ УО «ГГАУ». – Гродно, 2007. – С. 158-159.
25. Григорьев, Д.А. Физические процессы и структурные изменения растворов в электрическом поле/ Д.А. Григорьев // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы: Сборник научных трудов/ УО «ГГАУ».– Гродно, 2005. Т.4 ч.3, – С.150-153.
26. Гуринович, А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения/ А.Д. Гуринович //Технопринт. – Минск, 2001. –302 с.
27. Гуринович, А.Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: планирование, проектирование, строительство и эксплуатация/ А.Д. Гуринович //Технопринт. – Минск, 2004. –247 с.
28. Гуринович, А.Д. Справка о прогнозируемых объемах использования подземных вод для орошения и обводнения до 2000 года/ А.Д. Гуринович. – Минск: ЦНИИКИВР. –1991–158с.
29. Ермолин, Н.П.Надежность электрических машин/ Н.П. Ермолин, И.П. Жерихин. – Л.: «Энергия». – 1976. – 248 с.
30. Жангарин, А.И. Интенсивные гидроциклонные технологии очистки воды от наносов в мелиорации и водном хозяйстве: автореф. дис. докт. техн. наук: 06.01.02 / А. И. Жангарин; ВНИИГиМ. –М., 1988. –39 с.
31. Иванов, А. Гигиена воды на свиноводческих комплексах – эффективное решение// А. Иванов// Свиноводство. – 2005. – №5. – С.21.
32. Ивашко В.С., Трубилов А.К., Кураш В.В. и др. Основы надежности сельскохозяйственной техники В.С. Ивашко, А.К. Трубилов, В.В. Кураш/ Курс лекций. –Мн.: Ротапринт БГАТУ. –2001. – 247с.
33. Ивашко, В. С. Оптимизация характеристик насосного оборудования и эффективность его использования/ В. С. Ивашко

- А. С. Козорез// Известия Белорусской инженерной академии. – 2004. – № 2 (18). – с. 7–10.
34. Ивашко, В.С. Методика расчета ступени погружного центробежного насоса В.С. Ивашко, А.С. Козорез, А.П. Пименов, Т.А. Козорез// Инженерный вестник. –2006. – № 1 (21). – с. 41-50.
35. Ивашко, В.С. Надежность технических систем/ В.С. Ивашко, В.В. Кураш, П.Е. Круглый// Курс лекций. Мн.: Ротапринт БГАТУ. – 2003. – 154 с.
36. Ивашко, В.С. Технология восстановления номинальных размеров бочки ротора погружного электродвигателя методом электродуговой металлизации/ В.С.Ивашко, А.С. Козорез, Д.И. Модель// Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса сельскохозяйственной техники: Материалы международной научно-технической конференции. –Минск: 6-8 апреля 2004. с. 454...461.
37. Измайлов, Н.А. Электрохимия растворов/ Н.А. Измайлов – М.: Химия. – 1976. – 488 с.
38. Ильченко, А. Я., Демченко А. М. Насосы нового поколения. «Насосы&оборудование». – 2003. – № 2. – с. 24-25.
39. Информационно – исследовательские и статистические материалы СКТБН г. Кишинев и АО «Гидротехника» за 1960 – 1997 г.г.
40. Каптур, З. Ф. Справочник механизатора-животновода / З. Ф. Каптур [и др.]– Минск: Ураджай.– 1981. – 432 с.
41. Карташов, Л. П. Механизация и электрификация животноводства: учеб. пособие для ВУЗов / Л. П. Карташов [и др.]; под общ. ред. Л. П. Карташова. – 2-е изд. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 478 с.
42. Каталог «Погружные электронасосы для воды, ЦИНТИХ-НЕФТЕМАШ. – М., 1989.
43. Каталог Oddesse Pumpen- und Motorenfabrik GmbH. D-39387.
44. Квитницкий, Е. И. Расчет опорных подшипников скольжения Е. И. Квитницкий [и др.]. –М: Машиностроение. – 1979. –70 с.
45. Козорез, А. С. Повышение надежности погружных скваженных электронасосных агрегатов с применением новых мате-

- риалов и износостойких покрытий/ А. С. Козорез, В.С. Ивашко, Т.А. Козорез. – Минск: Народная книга, 2008.–250с.
46. Козорез, А. С. Скважинные электронасосные агрегаты производства ОАО «Завод Промбурвод»/ А. С. Козорез // «Вода для жизни»: Материалы Международной научно-практической конференции. – Минск, 2005. – С. 58-70.
  47. Козорез, А.С. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды/ А.С. Козорез, З.И. Гринцевич В.З. Гринцевич// Каталог. – Минск, 2006. – 80 с.
  48. Козорез, А.С. Выбор насосного оборудования для систем горячего и холодного водоснабжения/ А.С. Козорез. – Минск: Изобретатель. – 2004. – №6. – С. 2-3.
  49. Козорез, А.С. Надежность и эффективность погружных скважинных электронасосных агрегатов производства ОАО «Завод Промбурвод»/ А.С. Козорез.–Минск: Изобретатель – 2003. – №10-11 –С. 18-19.
  50. Козорез, А.С. Погружные скважинные электронасосные агрегаты производства ОАО «Завод Промбурвод»/ А.С. Козорез.– «Вода», –2003 №6 с.19-20.
  51. Козорез, А.С. Погружные скважинные электронасосные агрегаты. Эксплуатация и технический сервис/ А.С. Козорез, В.С. Ивашко. – Минск: Издательство РУП «Институт энергетика АПК НАН Беларуси». –2006. –186 с.
  52. Козорез, А.С. Применение бустерных агрегатов для повышения давления и циркуляции воды/ А.С. Козорез, Т.А. Козорез.–Минск: Международный аграрный журнал –2000. – №6 – С. 40-42.
  53. Козорез, А.С. Применение бустерных агрегатов в системах холодного и горячего водоснабжения/ А.С. Козорез. Минск: Городское хозяйство. – 2003. –№6. –С. 18-19.
  54. Козорез, А.С. Создание погружных скважинных электронасосных агрегатов/ А.С. Козорез// Минск: Изобретатель – 2005. – №7. – С. 33-35.
  55. Козорез, А.С. Энергосберегающие технологии для городского водоснабжения на примере бустерных агрегатов/ А.С. Козорез. – Киев: Насосы и оборудование. – 2003. –№1. – С. 21...23.

56. Козорез, Т.А. Анализ конструктивных особенностей погружных электронасосных агрегатов, производимых ОАО «Завод Промбурвод»/ Т.А. Козорез// V Республиканская конференция студентов, магистров и аспирантов Республики Беларусь (НИРС – 2000): Материалы конференции. ГрГУ. – Гродно, 2000 – В 5. Ч. 5 – С. 189-192.
57. Козорез, Т.А. Модель процессов в погружном центробежном насосе/ Т.А. Козорез// Материалы VII НТК студентов и аспирантов НИРС – 2003. – Минск: БНТУ. – 2003. – т.1. – с.7.
58. Козорез, Т.А. Прспективы производства и потребления электронасосных агрегатов/ Козорез Т.А. Материалы 54-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГПА. – Мн.: 2000. – В 10 ч. ч. 4. – С. 67.
59. Лезнов, В.С. Экономия электроэнергии в насосных установках/ В.С. Лезнов. –М: Энергоатомиздат, 1991. – 154 с.
60. Лезнов, В.С. Экономия электроэнергии в насосных установках/ В.С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат. –1991. – 78с.
61. Ломакин, А.А. Центробежные и осевые насосы/ А.А. Ломакин.–М: «Машиностроение», 1966. – 315 с.
62. Луговский, М.В. Средства механизации и основы расчета систем сельскохозяйственного водоснабжения М.В. Луговский Л.Я. Кашеков, В.М. Уссаковский. – М.: «Машиностроение». – 1969. – 264 с.
63. Лушников, К. Применение органических кислот в животноводстве/ К. Лушников//Комбикорма.– 2005. – № 6. – С.74-75.
64. Люкшtedт, К. Органические кислоты для стабилизации кормов и здоровья животных/ К.Люкшtedт// Комбикорма. – 2004. – № 6. – С.63-64.
65. Макаров, Г.В. Уплотнительные устройства Г.В. Макаров – М.: «Машиностроение». – 1965. – 349 с.
66. Манькин, А.Н. Автоматизация процессов водоснабжения в сельском хозяйстве А.Н. Манькин, И.Ф. Булыга. – Минск.: Ураджай. – 1988. – 72 с.

67. Марцинковский В.А. Гидродинамика и прочность центробежных насосов/ В.А. Марцинковский. – М.: «Машгиз», 1970 – 268 с.
68. Медведский, В.А. Гигиена животных: Учебное пособие для студентов специальности «Ветеринарная медицина» с.-х. вузов/ В.А. Медведский [и др]; под ред. В.А. Медведского, Г. А. Соколова.- Минск: Адукацыя и выхаванне 2003. – 364с.
69. Методы очистки воды: [Электрон. ресурс] 2007 г. – Режим доступа:<http://bibliotekar.ru/spravochnik-15/8.htm>.
70. Михайлов, А.К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование/ А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. – М.: «Машиностроение», 1977. – 247 с.
71. Непомнящий, М. А. Погружные электродвигатели для скважинных насосов/ М. А. Непомнящий. – Кишинев: ШТИИН-ЦА –1982. – 168 с.
72. Обзор международной насосной промышленности. Перспективы рынка до 2000 года. Elsevier Advanced Technology. Mayfield House, Bonluru Road. – Oxford – OX2 7DH, UK – 1993.
73. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения А.Д. Гуринович. Мн.: Технопринт. – 2001. – 302 с.
74. Полушкин Н.П. Повышение эксплуатационной надежности подпятников гидроагрегатов Н.П. Полушкин. – «Электрические станции». – 1973. – № 7. – с. 38-44.
75. Попков, Н.А. Корма и биологически активные вещества /Попков Н.А. и др. – Минск: Бел. Наука, 2005. – 882с.
76. Практикум по прикладной электрохимии: Учеб. пособ. для студ. вузов / Под общ. ред. Н.Т.Кудрявцева. – Л.: Химия, 1980. –185 с.
77. Преимущество электрохимических методов очистки воды: [электрон.ресурс] 2006 г. – Режим доступа:<http://prom-water.ru/catalog/waterborudovanie/el-di/>
78. Прикладная электрохимия / А.Л. Ротитиня [и др]; под общ. ред. А.Л. Ротитиняна. – Л.: Химия, 1974. – 482 с.
79. Применение электроактивированной воды в птицеводстве/ Российская Академия сельскохозяйственных наук /

- /методические рекомендации/ Филоненко В.И., Шоль В.Г., Фисинин, В.И. и др. Под общей редакцией доктора с.-х. наук, профессора Филоненко В.И. и академика РАМТН Бахира В.М.- Сергиев Посад 1995. – 29с.
80. Рогачев, В. А. Электрохимическая активированная вода в поении животных/ В. А. Рогачев В.А. Солощенко // Зоотехния: Теоретич. и научно-практический журн. 2004.–№ 2 – С15-18.
  81. Ротинян, А.Л. Теоретическая электрохимия / А.Л. Ротинян, К.И. Тихонов, И.А. Шошина; Под. общ. ред. А.Л. Ротиняна. – Л.: Химия, 1981. – 424 с.
  82. Роцин, М. П. Механизация животноводства: учеб. пособие / П. М. Роцин. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 287 с.
  83. Семак, В.Г. Расчет механических потерь в водозаполненных погружных электродвигателях/ В.Г. Семак – Электроэнергетика и автоматика. –1974. вып. 19. – с. 42-66.
  84. Сканечев, Е.А. Селко рН в производстве/ Е.А. Сканечев, Т.С. Урушева/ информационное сообщение. – Кировоград: ЗАО «УРАБИОВЕТ». – 2003. – 7с.
  85. Смутко, Н.У. Пластмассы в узлах трения погружных электрических насосов/ Смутко Н.У. – «Вестник машиностроения». –1993. – №1. – с. 27-28.
  86. Сокольский, А.К. Автоматизация водоснабжения животноводческих ферм/ А.К. Сокольский, Г.В. Метлов. – М.: Россельхозиздат. – 1977. – 257с.
  87. Способы очистки воды: [электрон. ресурс], 2005 г. – Режим доступа: <http://www.eco-vodoley.ru/statyi/stradaniya.php>.
  88. Степанов, А.И. Центробежные и осевые насосы/ А.И. Степанов. – М.: «Машгиз». –1960. – 406 с.
  89. Счастливый, Г.Г., Семак В.Г., Федоренко Г.М. Погружные асинхронные электродвигатели/ Г.Г. Счастливый, В.Г. Семак, Г.М. Федоренко. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с.
  90. Таран, В.П. Пособие по эксплуатации электрооборудования водоподъемных скважин. / В.П. Таран [и др]. – М: Недра. – 1989. – 192 с.
  91. Теорія та розрахунок машин для тваринництва/ за редакцією І.Г. Бойка. – Харків, 2002. –216с.

92. Технологии обеззараживания воды: [электрон.ресурс] 2006 г. – Режим доступа:<http://ximia/arg/encyclopedia/2/5294/html>.
93. Установка для обработки воды: пат. 5594 Респ. Беларусь, МПК C02F 1/46 / Д.А. Григорьев, В.С. Ивашко, П.Ф.Богданович; заявитель УО «ГГАУ». – № 20090226; заявл. 19.03.09. – 2009. – 5с.
94. Установка для получения электроактивированных жидкостей УЭХАВР- 4: Информ. листок / Министер. внешнеэконом. связей СССР. Волжский информ. центр. Нижнекамск, 1991. – 3 с.
95. Установки СТЭЛ - МТ - 1: Руководство по обслуживанию / Малое. предпр. «Экомед». - М., 1996. – 27 с.
96. Устройство для обеззараживания и очистки воды: пат. 2040477 RU, МКИ C02 F1/ 46. / В.М.Бахир, Ю.Г. Задорожный, Ю.А.Рахманин. - № 5035666/26; Заявл. 03.04.92; Оpubл. 27.07.95. // Офиц. патент. бюл. РФ по патентам и товарн. знакам. - 1995. - №21. – С. 45.
97. Устройство для очистки и обеззараживания воды: пат. 2038323 RU, МКИ С 02 F 1/46. / В.М. Бахир, Ю.Г.Задорожный, Ю.А.Рахманин и др. - № 5035757/26; Заявл. 03.04.92; Оpubл. 27.07.95 // Офиц. патент. бюл. РФ по патентам и товарн. знакам. - 1995. - № 18. - С. 56.
98. Филонов, А.Д. Нетрадиционные тепловые установки для систем отопления/ А.С. Козорез, Т.А. Козорез. – Международный аграрный журнал. 2000. – №2. –С. 39-41.
99. Фильтр погружного насоса: пат. Респ. Беларусь, 1713 С1, МКИ F 04D 29/70, E 21B 43/08. /Черныш Н.К., Гуринович А.Д. - № 950046; Заявл. 31.01.1995; Оpubл.30.09.1997 // Афицыйны бюлетэнь /Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 1997.
100. Фролов Ю.Н., Муртазаева В.Т. Выпаивание птице активированных растворов / Ю.Н. Фролов, В.Т. Муртазаева. – Птицеводство. – 1994. – № 2. – С. 11-12.
101. Фролов, К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиностроения/ К.В. Фролов. – Основы проектирования машин. – М.: Машиностроение. – 1984. – 224 с.

102. Хохловкин Д.М. Глубинные насосы с погружными электродвигателями/ Хохловкин Д.М. – М: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР. –1959. – 76 с.
103. Чернов. О.И. Санитарно-гигиеническая оценка качества питьевой воды водозаборных скважин на свиноводческих фермах и комплексах/ О.И. Чернов.// Сборник научных трудов: Сельское хозяйство - проблемы и перспективы. – УОГГАУ. – Гродно 2004. – С86-89.
104. Швиндин, А. И., Боярко Н. Н. Подшипниковые узлы конденсатных насосов ТЭС и АЭС станут надежнее. «Насосы. Трубопроводная арматура/маркетинг, производство, экология» 1998, №3(6-7), стр. 12-13.
105. Шилов, В. Е. Устройство и техническое обслуживание дезинфекционного оборудования / В. Е. Шилов, А. Ф. Князев, Е. А. Булашов. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 351 с.
106. Электродвигатели погружные. Руководство по текущему ремонту. –М: ГОСНИТИ. – 1980. – 96 с.
107. Электродиализ и непрерывная электродеионизация воды: НПК «Медиана – фильтр» [электрон. ресурс], 2006 г. – Режим доступа : <http://internet-arteka.msk.ru/sovremenniesistemi-wodosnabjeniya/elektrodializ-void/php>.
108. Этапы подготовки воды:[электрон.ресурс], 2006 г. . – Режим доступа:<http://www.ecell.ru/technology.html>
109. Юрцвайг, В.И. Маркетинговые исследования потребности и производства электронасосных агрегатов типа ЭЦВ в России/ В.И. Юрцвайг. –М.: ОКБ БН. – 1993. –49с.
110. Якименко, Л.М., Модылевская И. Д., Ткачек З.А. Электролиз воды/ Л.М. Якименко, И. Д. Модылевская, З.А. Ткачек. - М.: Химия. – 1970. – 263 с.

Научное издание

**Ивашко** Виктор Сергеевич  
**Козорез** Александр Сергеевич  
**Григорьев** Дмитрий Алексеевич  
**Сосин** Игорь Петрович

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Монография

Компьютерная верстка:

Подписано в печать 2009  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать Riso. Усл.печч.л 25, 52. Уч.-изд.л. 27, 68.  
Тираж 200 экз. Заказ №2050.

Учреждение образования  
«Гродненский государственный аграрный университет»  
Л.И.№02330/0548516 от 16.06.2009  
230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28.

Отпечатано на технике издательско-полиграфического отдела  
Учреждения образования «Гродненский государственный  
аграрный университет»  
230008, г. Гродно, ул. Терешковой, 28.

Сверстано и отпечатано с материалов, предоставленных на электронный носителях. За достоверность информации, а также ошибки и неточности, допущенные авторами, редакция ответственности не несет.