

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Вологодская государственная молочнохозяйственная академия  
имени Н.В. Верещагина»  
(ФГОУ ВО ВГМХА им. Н.В. Верещагина)

Кафедра энергетических средств и технического сервиса

# ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

## Часть 3

*Методические указания  
к лабораторным работам*  
по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»

Вологда – Молочное  
2023

УДК 613.3-83(071)  
ББК 40.76 р30  
Э455

С о с т а в и т е л и :  
профессор ***В.Н. Острецов***  
к.т.н. доцент ***А.В. Палицын***

Р е ц е н з е н т –  
к.т.н. доцент ***Е.А. Берденников***

**Э455**    **Электропривод** и электрооборудование. Часть 3: Методические указания/ Сост. В.Н. Острецов, А.В. Палицын. – Вологда–Молочное: ИЦ ВГМХА, 2023.

Методические указания предназначены для подготовки и выполнения третьего цикла лабораторных работ по курсу «Электропривод и электрооборудование» в соответствии с учебно-методическим комплексом дисциплины.

Методические указания одобрены методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства.

УДК 613.3-83(071)  
ББК 40.76 р30

© Острецов В.Н., Палицын А.В., 2023

# **Лабораторная работа 1**

## **Изучение магнитных пускателей и схем автоматического управления трехфазными электродвигателями с короткозамкнутым ротором**

### **Цель работы:**

1. Изучить конструкции и принцип действия магнитных пускателей.
2. Исследовать действие нулевой, минимальной и тепловой защиты магнитных пускателей.
3. Научиться читать и изображать простейшие схемы автоматического управления электроприводами с использованием магнитных пускателей.

### **Методические указания**

Магнитным пускателем обычно называют совокупность электромагнитного контактора и теплового реле, включенных в общий корпус. Иногда в общий корпус помещают кроме теплового реле и другие защитные реле: реле максимального тока, реле минимального напряжения.

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного и местного полуавтоматического управления электродвигателями и другими электроприемниками.

Основной аппарат магнитного пускателя – электромагнитный контактор – представляет собой электрический аппарат для коммутации силовых цепей низкого напряжения с приводом от электромагнита.

**Принцип действия контактора** состоит в том, что при подаче электропитания на катушку контактора происходит притягивание якоря магнитной системы к сердечнику. Это приводит к замыканию замыкающих и размыканию размыкающих контактов. При обесточивании катушки якорь под действием собственного веса или специальных пружин отпускается, замыкающие контакты размыкаются, размыкающие контакты замыкаются.

Изучая конструкции контакторов, обратите внимание на следующее:

- на конструктивные различия в устройстве магнитных систем контакторов переменного и постоянного тока, в частности,

на наличие короткозамкнутых витков у контакторов переменного тока, на форму и конструкции силовых контактов, блок – контактов.

Магнитные пускатели помимо выполнения основной своей функции (включения и выключения электроприемников) выполняют еще важные функции защиты электропривода. В общем случае у магнитного пускателя может быть четыре вида защиты:

**1 - нулевая защита** – состоит в том, что при исчезновении напряжения в сети (снижение его до нуля) магнитный пускатель отключается, а при восстановлении напряжений в сети до нормального пускатель, самопроизвольно не включается. Если контактор отключился при исчезновении напряжения блокировочная связь самовосстановиться не может. Нулевая защита предупреждает аварии и травмы на производстве от самопроизвольного включения двигателей при неожиданном восстановлении напряжения в сети.

**2 – защита от минимального напряжения (минимальная защита)** – это отключение магнитного пускателя при снижении напряжения в сети до некоторого минимального значения. При снижении напряжения в сети до некоторого минимума контактор не может удержать свой якорь и магнитный пускатель отключается. Защита от минимального напряжения предохраняет двигатель от работы на сниженном напряжении. Контактторы переменного тока отключаются при весьма глубоких снижениях напряжения, составляющих 50–60 % от номинального.

При колебаниях напряжения на катушках контакторов от (+10%) до (-15%) от номинального магнитные пускатели должны работать нормально.

**3 - тепловая защита** – предназначена для защиты двигателей от небольших, но длительных перегрузок по току. Перегрузки небольшие по величине, но недопустимые по длительности вызывают опасный перегрев двигателя. Осуществляется тепловая защита с помощью тепловых реле, встроенных в магнитные пускатели.

Основной элемент реле – термобиметаллическая пластина – сваривается из двух пластин с различным коэффициентом линейного расширения. При нагревании такая пластина изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом расширения.

Для нагревания пластины пропускается ток защищаемого двигателя или непосредственно через пластину, или через специальный нагреватель, расположенный рядом.

Реле имеют падающую защиту (время – токовую характеристику) - с увеличением тока перегрузки, время выдержки реле уменьшается. В виду значительной тепловой инерции тепловые реле не могут защищать двигатель от коротких замыканий, когда ток короткого замыкания превышает номинальный ток двигателя в 10 – 15 и более раз.

### **Основные величины, характеризующие тепловые реле:**

$I_{н.р.}$  – номинальный ток реле. Это наибольший ток, который длительно выдерживают токоведущие части реле, не перегреваясь сверх допустимой температуры при температуре окружающей среды  $+35^{\circ}\text{C}$ .

$I_{н.н.}$  – номинальный ток нагревателя. Это наибольший длительный ток, при котором реле не срабатывает при температуре окружающей среды  $+35^{\circ}\text{C}$ .

Тепловые реле выбирают по условиям:

$$I_{н.р.} \geq I_{н.д.} \quad (1)$$

$$I_{н.н.} \cong I_{н.д.} \quad (2)$$

где  $I_{н.д.}$  – номинальный ток защищаемого двигателя, А.

Выбранное таким образом тепловое реле должно быть отрегулировано и настроено с учетом приблизительного равенства номинального тока нагревателя и номинального тока двигателя и с учетом температуры окружающей среды.

**4 - максимальная токовая защита** – защита от кратковременного протекания токов перегрузки или токов короткого замыкания. Осуществляется максимальная токовая защита с помощью встроенных в корпус магнитного пускателя, реле максимального тока. Применяется сравнительно редко в специальных пускателях, когда тепловые реле не могут защищать двигатель от перегрузки, например, при повторно – кратковременном режиме работы двигателя.

### **Основные технические характеристики магнитных пускателей:**

$U_{н.п.}$  – номинальное напряжение пускателя. Наибольшее напряжение, при котором может работать пускатель;

$U_{н.к.}$  – номинальное напряжение катушки контактора;

$I_{н.п.}$  – номинальный длительный ток, на который рассчитаны силовые токоведущие части пускателя;

$P_{п.}$  – предельно-допускаемая мощность короткозамкнутого двигателя при определенном напряжении.

*Пускатель выбирают по условиям:*

$$U_{н.п.} \geq U_{н.с.} \quad (3)$$

$$U_{н.к.} = U_{н.с.} \quad (4)$$

$$I_{н.п.} \geq I_{н.д.} \quad (5)$$

$$P_{п.} \geq P_{н.д.}, \quad (6)$$

где  $U_{н.с.}$  – номинальное линейное напряжение сети, В;

$I_{н.д.}$  – номинальный ток двигателя, А;

$P_{н.д.}$  – номинальная мощность двигателя, кВт.

При заказе указывают марку пускателя (тип) и  $U_{н.п.}$ ,  $I_{н.п.}$ ,  $P_{п.}$ ,  $U_{н.к.}$ .

### **Схемы автоматического управления электродвигателями**

Для удобства понимания принципов автоматического управления электроприводами и практической наладки электроприводов используются развернутые схемы автоматического управления (принципиальные).

Развернутой схемой автоматического управления называется такая схема, на которой элементы одного и того же аппарата (обмотки, контакты и т.д.) размещаются исключительно по принципу их функциональной связи (взаимодействию). Конструктивная связь и действительное местоположение элементов одного и того же аппарата, а также различных аппаратов на схеме не отражается.

Такие схемы удобны для понимания принципа действия, легки для чтения и начертания по сравнению с совмещенными схемами, где показываются не только функциональные связи, но и конструктивные связи элементов.

Элементы аппаратов и машин в развернутых схемах принято показывать с помощью специальных условных графических изображений (ГОСТ 2-755-74 и др. ГОСТы).

В табл. 1 показаны условные графические изображения некоторых элементов, встречающихся в схемах автоматического управления электроприводами.

Принципы начертания и чтения развернутых схем в основном сводятся к следующему:

1. Каждому аппарату в схеме присваивается буквенное обозначение, указывающее на функции данного аппарата, например:

Л – линейный контактор;

У – универсальный контактор;

Т – тепловой контактор.

При наличии в схеме двух или более однотипных аппаратов они помимо обозначения буквой нумеруются цифрой. Цифра ставится впереди буквы. Например, первый контактор (1 К), второй контактор (2 К).

2. Все части одного и того же аппарата обязательно обозначаются одной и той же буквой. Это позволяет определить какому именно аппарату принадлежат данные контакты, катушка и т.д. Например, на схеме (рис. 2) все части контактора «Вперед» - обозначены буквой (В).

Если аппарат имеет несколько однотипных элементов, то они нумеруются порядковыми номерами. Порядковый номер элемента ставится после буквенного обозначения. Например, если контактор 1К имеет два размыкающих контакта, то они обозначаются 1К 1 и 1К 2.

3. Схема изображается в так называемом начальном положении (состоянии), когда электропитание на катушках контакторов и реле отсутствует (схема обесточена) и когда отсутствуют всякие механические воздействия на контактные системы и командоаппараты (кнопки управления не нажаты, командоконтроллеры находятся в нулевом положении).

В нормальном положении замыкающие контакты находятся в разомкнутом состоянии, а размыкающие – в замкнутом состоянии.

4. Каждый зажим, соединяющий два и более провода, обозначается цифрой. Зажимы, имеющие общую точку соединения, обозначаются одной и той же цифрой.

5. Главные силовые цепи, по которым протекают силовые токи двигателей, генераторов изображаются толстыми (жирными) линиями. Вспомогательные цепи, по которым протекают токи катушек контакторов, реле управления, реле сигнализации, блокировки и других вспомогательных элементов изображаются тон-

кими линиями. Толщина их примерно в два раза меньше толщины линий силовых цепей.

6. При чтении схемы последовательно рассматриваются состояния всех элементов схемы и их взаимное действие.

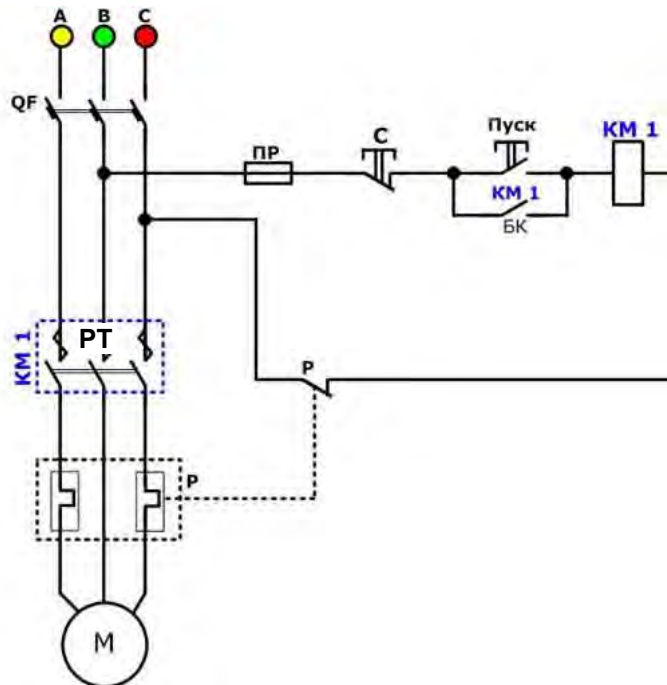


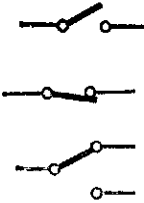
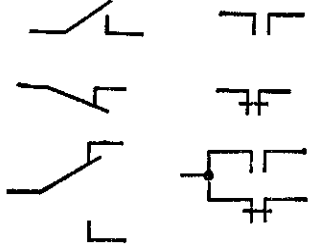
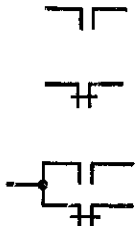
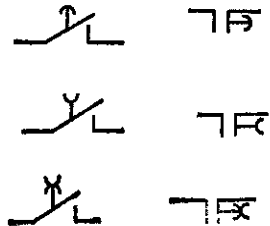
Рис. 1. Принципиальная электрическая схема пуска двигателя

























На рис. 1 изображена развернутая схема неревверсивного магнитного пускателя, предназначенная для управления трехфазным короткозамкнутым двигателем в наладочном «толчковом» режиме. Для пуска двигателя необходимо включить рубильник и нажать кнопку «Пуск». При этом оживляется ток катушка контактора Л. Ток проходит по цепи: с зажима Л<sub>2</sub>, через предохранитель теплового реле П, катушку Л, кнопки «Пуск» и «Стоп», второй предохранитель теплового реле П, на зажим Л<sub>3</sub>. Срабатывает контактор Л, замыкаются его силовые контакты Л, двигатель подключается к сети и запускается.

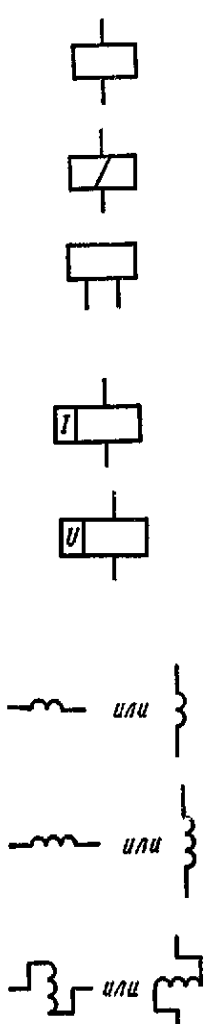

При отпускании кнопки «Пуск» цепь катушки Л размыкается, так как кнопка «Пуск» с самовозвратом. Катушка контактора Л обесточивается, якорь контактора отпадает, силовые контакты размыкаются и двигатель отключается от сети.



Таблица 1

<p>1</p>	<p>Контакт выключателя и переключателя:</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p> <p>в) переключающий</p>	
<p>2</p>	<p>Контакт электрического реле:</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p> <p>в) переключающий</p>	<p><i>Форма I</i>                      <i>Форма II</i></p> 
<p>3</p>	<p>Контакт контактора, пускателя, силового контроллера; блок-контакт электрического аппарата;</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p> <p>в) переключающий</p>	
<p>4</p>	<p>Контакт замыкающий, имеющий выдержку времени:</p> <p>а) при замыкании</p> <p>б) при размыкании</p> <p>в) при замыкании и размыкании</p>	<p><i>Форма I</i>                      <i>Форма II</i></p> 

<p>5</p> <p>Контакт размыкающий, имеющий выдержку времени:</p> <p>а) при замыкании</p> <p>б) при размыкании</p> <p>в) при замыкании и размыкании</p>	<p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p>	<p></p> <p></p> <p></p>
<p>6</p> <p>Контакт с гашением. Общее обозначение:</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>	<p></p> <p></p>
<p>7</p> <p>Контакт остающийся с ручным возвратом:</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>	<p>а) </p> <p>б) </p>
<p>8</p> <p>Контакт неэлектрического реле (датчика, путевого выключателя, конечного выключателя и т. п.):</p> <p>а) замыкающий</p> <p>б) размыкающий</p>	<p>а) </p> <p>б) </p>	<p>а) </p> <p>б) </p>
<p>9</p> <p>Кнопка с самовозвратом и замыкающим контактом</p>	<p></p>	<p></p>
<p>10</p> <p>Кнопка с самовозвратом и размыкающим контактом</p>	<p></p>	<p></p>
<p>11</p> <p>Кнопка с самовозвратом, одним замыкающим и одним размыкающим контактами</p>	<p></p>	<p></p>

<p>12</p>	<p>Обмотка реле, контактора и магнитного пускателя. Общее обозначение</p> <p>Примечания: 1. Если необходимо подчеркнуть, что реле однообмоточное, используют следующее обозначение</p> <p>2. Выводы обмотки допускаются изображать по одну сторону прямоугольника</p> <p>3. Если необходимо показать вид обмотки реле, используют следующие обозначения:</p> <p>а) обмотка токовая</p> <p>б) обмотка напряжения</p> <p>4. Допускается для изображения обмоток реле, контакторов и магнитных пускателей применять следующие обозначения:</p> <p>а) обмотка реле токовая последовательная</p> <p>б) обмотка реле напряжения параллельная</p> <p>в) обмотка контактора и магнитного пускателя</p>	
<p>13</p>	<p>Обмотка электромагнитного реле с указанием выдержки времени:</p> <p>а) с замедлением при срабатывании</p> <p>б) с замедлением при отпуске</p>	

Если в схему ввести блокировочную цепь, с блокировочным контактом Л, шунтирующим кнопку «Пуск», то получается обычная схема магнитного пускателя. В отличие от первоначального варианта схемы при нажатии кнопки «Пуск», катушка контактора Л ставится на самопитание и при отпуске кнопки

«Пуск», ток проходит по цепи: зажим  $L_2$ , предохранитель теплового реле П, катушку Л, блок – контакт Л, кнопку «Стоп», второй предохранитель П теплового реле, зажим сети  $L_3$ . Силовые контакты Л замкнуты, двигатель включен. Для нормального отключения двигателя необходимо нажать кнопку «Стоп». При этом катушка Л обесточивается, якорь контактора отпадает, размыкаются силовые контакты Л и блок-контакты Л.

Аварийные отключения двигателя: при срабатывании тепловой защиты размыкается контакт теплового реле РТ в цепи катушки Л. Далее все происходит также как и при нажатии кнопки «Стоп». Эта схема обладает нулевой и минимальной защитой. Эти функции выполняются контактором.

На рис. 2 приведена схема реверсивного магнитного пускателя, с помощью которого осуществляется реверсирование трехфазного электродвигателя. С помощью контактора «Вперед», обозначенного буквой В, двигатель включается в прямом направлении. С помощью контактора «Назад», обозначенного буквой Н, меняются местами два провода линии и двигатель включается в обратном направлении. В цепи катушек контакторов В и Н включена кнопочная станция с тремя кнопками: кнопка «Стоп», которая является общей, может разрывать цепь катушек (В) и (Н); кнопка «Вперед», имеющая замыкающий контакт цепи катушки (В) и размыкающий контакт в цепи катушки контактора (Н); кнопка «Назад», имеющая также два контакта - размыкающий и замыкающий. Механические связи контакторов показываются пунктирной линией. В кнопках «Вперед» и «Назад» замыкающие контакты служат для пуска двигателя соответственно вперед или назад. Размыкающие контакты этих кнопок являются блокировочными. Они запрещают (блокируют) одновременное срабатывание контакторов (В) и (Н) при случайном одновременном нажатии кнопки «Вперед» или кнопки «Назад», т.к. это привело бы к короткому замыканию силовой линии.

7. Проверить действие блокировки запрещающей одновременное включение контакторов (В) и (Н).

8. Подобрать по каталогу пускатель и тепловое реле для двигателя, указанного преподавателем.

Блокировка от одновременного замыкания силовых контактов «Вперед» и «Назад» иногда выполняется с помощью механи-

ческих защелок или с помощью размыкающих блок-контактов самих контакторов.

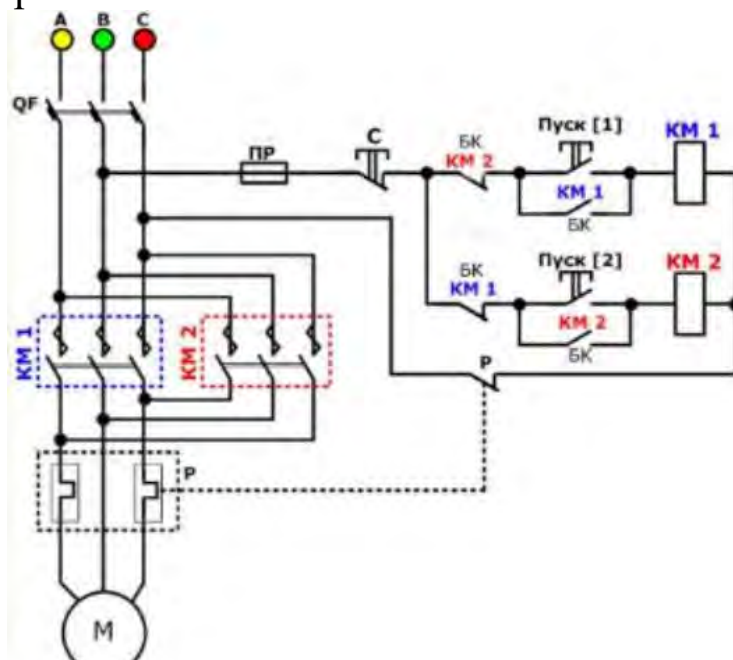


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема реверсивного пуска двигателя

## **ПРОГРАММА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Изучить конструкции нереверсивных и реверсивных магнитных пускателей, представленных на лабораторном стенде, а также по плакатам.

2. Найти основные части контакторов и тепловых реле, указать их назначение.

3. Собрать схему нереверсивного магнитного пускателя для управления короткозамкнутым двигателем и испытать ее в работе (рис. 1).

4. Изучить принцип действия тепловой защиты, встроенной в магнитный пускатель.

5. Изучить действие минимальной защиты по напряжению.

6. Собрать схему реверсивного магнитного пускателя (рис. 2), после проверки схемы руководителем занятий, испытать ее в действии.

9. Проанализировать результаты опытов. Составить отчет по установленной форме. В отчете обязательно привести все результаты исследований и основные схемы.

## Лабораторная работа 2

### ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ВОДОКАЧКИ

**Цель работы:** изучить аппаратуру управления и защиты автоматической водокачки на примере аппаратуру типа АБВ – КД для башенной водокачки.

Провести испытания схемы автоматической водокачки на действующем лабораторном стенде. Исследовать режим работы электропривода насоса водокачки.

В настоящее время башенные водокачки с напорным баком имеют преимущественное распространение. Основное их преимущество перед безбашенными электроводокачками – большая надежность водоснабжения.

Полная автоматизация таких водокачек позволяет: а) высвободить рабочую силу за счет устранения машинистов водокачек, устранить потери воды из-за переполнения напорного бака; б) уменьшить размеры напорных баков по сравнению с неавтоматизированными водокачками при сохранении величины хозяйственного запаса воды в баке; в) хозяйственный запас воды в баке в основном определяется нерегулируемым (аварийным) объемом воды ( $V_a$ ), который в свою очередь зависит от установленного минимального нижнего уровня воды (рис. 1). При автоматическом управлении легко обеспечивается 10 и более число включений водокачки в час. Это позволяет довести нерегулируемый (аварийный) объем воды до 80 – 90% от полезного объема воды в баке.

В качестве автоматического аппарата для включения и выключения электродвигателя применяется контактор. В качестве датчика уровня до недавнего времени использовались поплавковые датчики уровня. Вследствие их ненадежной работы, особенно на морозе, от них отказались.

Чаще для автоматической башенной водокачки используется водоконтактный датчик уровня. Основной особенностью этого датчика является использование электропроводности перекачива-

емой воды так, что сама вода размыкает и замыкает цепь управления. Водоконтактный датчик устанавливается в водонапорном баке водокачки. Он состоит из двух пар стальных пластин (рис. 1): верхняя пара пластин расположена на верхнем уровне (КВУ), нижняя пара пластин – на нижнем уровне (КНУ).

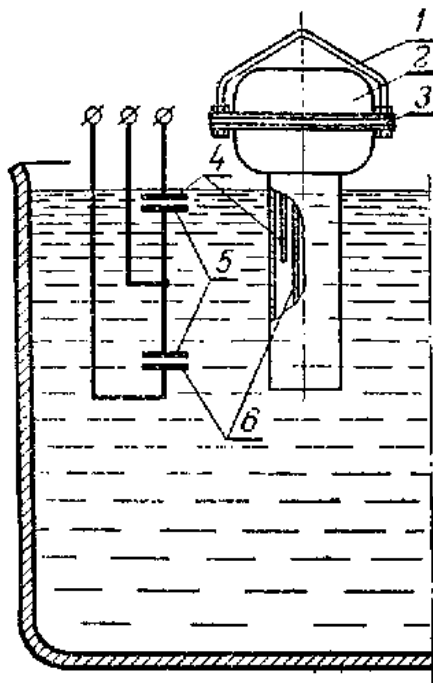


Рис. 1. Схема электродного датчика уровней:

1 - скоба для подвески датчика; 2 — защитный кожух; 3 — панель зажимов;  
4 — электрод верхнего уровня; 5 — общий электрод; 6 — электрод нижнего уровня

На рис. 2 представлена электрическая схема автоматической водокачки с аппаратурой типа АБВ – КД. Действие схемы состоит в следующем. Нажатие кнопки «возврат» вызывает начальный пуск водокачки. При этом действие аппаратов происходит следующим образом: срабатывает реле «возврата» РВ, ток проходит через катушку реле по цепи: фаза Л1 – кнопка «стоп», кнопка «возврат», катушка РВ, замыкающие контакты теплового реле 1РТ и 2РТ, фаза Л3; замыкается замыкающий контакт РВ, этим самым реле РВ ставится на самопитание, т.е. ток на катушку реле подается через контакты РВ, а кнопка «возврат» может быть опущена.

Одновременно с реле РВ срабатывает линейный контактор Л, замыкающий свои силовые контакты Л, он включает электродвигатель, вращающий насос. Катушка Л питается по цепи: фаза Л1,

кнопка «стоп», контакт РВ – катушка Л, размыкающий контакт реле управления РУ, фаза Л3. При работе насоса уровень воды в напорном баке повышается. Когда вода перекроет и замкнет электрические контакты нижнего уровня КНУ, двигатель не отключается, т.к. катушка реле управления РУ не получает питания. В момент времени, когда вода достигает верхнего уровня и замкнет верхние контакты датчика КВУ, оживляется ток катушка реле РУ. Ток проходит по селеновому выпрямителю СВ, собранному по мостовой схеме. Катушка реле РУ питается выпрямленным постоянным током от выпрямителя. Катушка РУ начинает питаться постоянным током тогда, когда замыкается пластинами КВУ цепь, подающая ток (переменный) к другой диагонали моста выпрямителя: клемма «а» трансформатора ТР – 2, выпрямитель СВ, провод 6, пластина КВУ, провод 8, клемма «б» трансформатора ТР – 2.

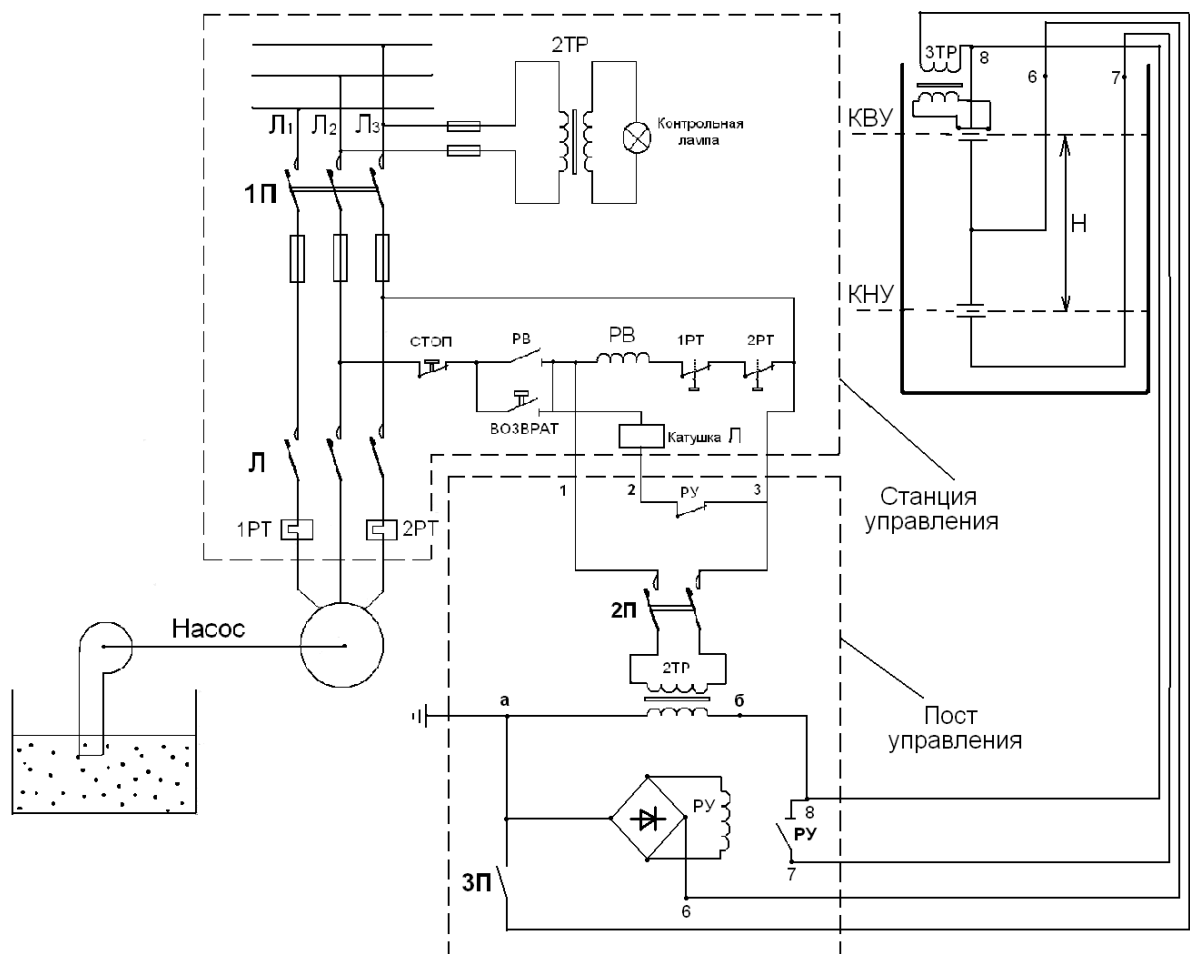


Рис. 2. Электрическая схема автоматической водокачки



При срабатывании реле РУ размыкается размыкающий контакт этого реле (РУ), включенный в цепь катушки линейного контактора (Л). Благодаря этому, цепь катушки Л размыкается, контактор размыкает свои силовые контакты, двигатель и насос останавливаются. Заметим, что при срабатывании реле РУ, замыкается другой его контакт (РУ) замыкающий. Этим самым подготавливается цепь для самопитания катушки реле (РУ) так, что когда уровень воды в баке понизится, и верхние пластины датчика (КВУ) разомкнутся, катушка реле не обесточивается, а получит питание по цепи в обход разомкнувшегося контакта КВУ – клемма «а» - выпрямитель, СВ, провод 6 – контакты КВУ - провод 7, закрывшийся контакт РУ, клемма «б».

Когда уровень воды понизится и вода разомкнет нижние пластины датчика КНУ, обесточивается катушка реле РУ, замыкается размыкающий контакт РУ в цепи катушки контактора Л, контактор срабатывает и включает электродвигатель насоса. Далее цикл повторяется.

### **ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

Лабораторный стенд для изучения аппаратуры автоматической водоподкачки и исследования режима работы электропривода насоса состоит из следующих составных частей: верхнего напорного бака, нижнего сливного бака, насоса с электродвигателем, системы трубопроводов.

В верхнем водонапорном баке смонтирован пластинчатый водоконтактный датчик промышленного изготовления, поставляемый в комплекте с аппаратурой типа АБВ - КД.

Аппаратура управления типа АБВ - КД размещается в двух шкафах: первый шкаф представляет собой станцию управления, в нем размещены (рис. 2): пакетный выключатель ПВ, трансформатор ТР – 1 для питания контрольной лампы ЛК, напряжением 36В, линейный контактор МП, тепловые реле, реле возврата, плавкие предохранители для защиты двигателя насоса и трансформатора. На корпусе станции управления смонтированы кнопки «возврат» и «стоп». Станция управления размещается непосредственно в насосной. В лабораторном стенде для замера про-

должительности пуска двигателя в одну фазу включен амперметр.

Второй шкаф меньшего размера представляет собой пост управления. В нем смонтированы трансформатор 220/36 В 2 – ТР, реле управления, селеновый выпрямитель, пакетные выключатели 2П и 3П. Последний служит для отключения трансформатора обогрева датчика 3 - ТР. Трансформатор 3 – ТР размещен на верхней пластине датчика КВУ. Вторичной обмоткой этого трансформатора служит стальная шина, которая замыкается стальной пластиной КВУ. Ток, проходящий через верхнюю пластину датчика, обогревает верхние пластины и предупреждает замерзание воды между пластинами верхнего уровня.

Пост управления устанавливается в непосредственной близости от водонапорной башни.

В настоящее время взамен аппаратуры АБВ - КД выпускается подобная же аппаратура со станциями управления типа ПЭТ. Станция управления типа ПЭТ рассчитана на электродвигатели мощностью от 4 до 65 кВт. Основное отличие станции управления ПЭТ от станции управления АБВ - КД состоит в том, что исключены понижающие трансформаторы, питание датчика переведено на сетевое напряжение 220 В, вместо плавких предохранителей установлен автоматический выключатель типа АП – 50 с тепловым и электромагнитным выключателем.

Промышленность также освоила выпуск новой системы автоматического управления насосным агрегатом (САУНА). Система состоит из бесконтактных станций управления типа ПЭТ, датчиков уровня и сухого хода, последний входит в комплект станции управления с погружными насосами с мощностью двигателя свыше 12 кВт. Указанные системы обеспечивают автоматическое, телемеханическое и местное управление.

При большом расходе воды двигатель насоса автоматической водоподкачки может работать в продолжительном режиме, при малом – в кратковременном режиме, а при промежуточных значениях расхода может быть повторно – кратковременный режим.

С точки зрения нагрева двигателя наиболее тяжелым будет продолжительный режим, т.к. за время работы двигатель при этом режиме нагревается до установившейся температуры. По-

этому для автоматических водокачек двигатель выбирают по продолжительному режиму.

При выборе двигателя необходимо учесть возможность изменения режима работы, например, при прорыве водопровода вблизи насоса резко падает напор и растет расход воды. Мощность может стать выше расчетной. Поэтому рекомендуется выбирать двигатель с запасом мощности. Коэффициент запаса выбирают в зависимости от величины расчетной мощности в пределах 1,2...1,5. При меньшей мощности берется большее значение.

В настоящее время при проектировании автоматических водокачек появились рекомендации по увеличению максимальной частоты включений до 40 – 60 в час. Это приводит к значительному снижению объема бака. Но при таких частотах заметно проявляется нагрев двигателя от пусковых токов. Поэтому рекомендуется проверка выбранного двигателя на допустимое число включений в час ( $Z_{\text{доп.}}$ ), которое определяется по эмпирической формуле:

$$Z_{\text{доп.}} = 2250 (1 - E) (1 + a) / K_i^2 \times t_{\text{пуска}} \quad (1)$$

$$E = t_p / T_{\text{ц}} \quad (\text{при } Z = Z_{\text{max}}) \quad (2)$$

$$a = P_{\text{пост.}} / P_{\text{перем}} = 0,5 + 0,7 \quad (3)$$

где  $K_i$  – кратность пускового тока двигателя по каталогу;

$t_{\text{пуска}}$  – продолжительность пуска двигателя в секундах;

Продолжительность пуска может быть определена расчетным путем, используя уравнение движения электропривода.

Опытным путем приближенное значение  $t_{\text{пуска}}$  можно определить весьма просто - по показанию амперметра, включенного в цепь двигателя. Продолжительность пуска отсчитывают по секундомеру, наблюдая время от начала пуска до падения пускового тока, что видно по быстрому падению стрелки малоинерционного амперметра.

Физическая сущность понятия «допустимое число включений» двигателя в час сводится к тому, что при такой частоте включений нагрев двигателя от пусковых токов не превышает

допустимого нагрева, т.е. превышение температуры обмотки  $\tau$  не превысит  $\tau_{\text{доп}}$ . для данного класса изоляции.

Очевидно, для нормальной работы привода водокачки должно быть выполнено условие по допустимому числу включений:

$$Z_{\text{max}} \leq Z_{\text{доп}}. \quad (4)$$

### **ПРОГРАММА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться с конструкцией водоконтактного датчика уровня воды, представленного в натуре.

2. Ознакомиться с конструкцией и монтажной схемой станции управления и поста управления, представленных на лабораторных стендах. Найти основные аппараты управления и защиты водокачки: линейный контактор, реле возврата, тепловые реле, реле управления, селеновый выпрямитель, трансформаторы, пакетные выключатели.

3. **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** Прежде чем приступить к осмотру оборудования водокачки необходимо убедиться, что вся водокачка отключена от сети. Строго запрещается производить осмотр водокачки под напряжением.

4. С разрешения преподавателя подготовить водокачку к пуску, закрыть вентиль на верхнем баке. Включить пакетный выключатель станции управления. Нажатием кнопки «возврат» пустить двигатель водокачки в ход.

5. Убедиться, что насос работает по изменению уровня воды в верхнем баке, который наблюдается через водомерное стекло. Когда вода достигнет контактов нижнего уровня датчика (это определяется по метке, нанесенной на баке) отметить по секундомеру начало наполнения регулируемого объема башни. Когда уровень воды достигнет верхних контактов датчика уровня и отключится, отметить по секундомеру время наполнения бака ( $t_{\text{нап.}}$ ) необходимое для расчета производительности насоса.

После того как насос выключится, открыть полностью вентиль верхнего бака и по секундомеру измерить время опорожнения регулируемого объема башни ( $t_n$ ), необходимое для опреде-

ления расхода воды и времени цикла работы водокачки. Для получения более точных результатов, отключая водокачку можно повторить опыт.

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** при закрывании и открывании вентиля на баке не применять больших усилий.

6. Измерить диаметр бака и разность уровней воды в баке с помощью линейки и вычислить регулируемый объем башни ( $V_p$ ).

7. По полученным из опыта величинам определить составляющие времени цикла, время работы  $t_p$ , время паузы  $t_n$ , время цикла  $T_{ц}$ , число выключений водокачки в час  $Z$ .

Полученную расчетом величину  $Z$  можно проверить опытным путем, включив водокачку и замерив фактическое время работы  $t_{\text{раб.факт.}}$

8. Рассчитать максимально возможное количество включений водокачки в час ( $Z_{\text{max}}$ ) и сравнить его с допустимым числом включений в час двигателя по условиям допустимого нагрева двигателя  $Z_{\text{доп}}$ . Для данного двигателя  $Z_{\text{доп}}=40$  вкл/ч,  $t_{\text{пуска}}=0,1$  с.

9. Составить отчет по установленной форме. В отчете привести принципиальную схему водокачки с кратким описанием функций основных ее элементов: линейного контактора, реле возврата, реле управления, датчика уровня, трансформаторов, пакетных выключателей.

10. Выводы по работе должны содержать основные положения, вытекающие из проведенных опытов или расчетов, например, указание в каком режиме будет работать двигатель водокачки при фактическом расходе воды и производительность насоса, по каким данным следует выбрать мощность двигателя автоматической башенной водокачки.

### Лабораторная работа 3

## ЛАМПЫ, СВЕТИЛЬНИКИ, ОБЛУЧАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

**Цель работы:** Практически ознакомиться с источниками видимого, ультрафиолетового и инфракрасного излучений; изучить их устройство, принцип действия и провести исследования.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:**

#### **Исследовать технические характеристики различных типов ламп при изменении параметров сети**

А). На стенде установить лампу накаливания (1) и на расстоянии вплотную ( $l = 0$  м) установить фотоэлектрический люксметр. Переключатель на люксметре установить на «100».

1) Исследовать зависимость освещенности « $E$ », создаваемой лампой от напряжения сети с шагом  $\Delta U = 30 \pm 2$  В от *max* 260 до *min* 80 В. Напряжение изменять при помощи «ЛАТРА». Построить график  $E = f(U)$ .

Таблица 1.

Тип лампы – <i>накаливания</i> . $l = 0$ м							
Напряжение, В	260	240	200	170	140	110	80
Ток, А							
Мощность, Вт							
Освещенность, лк							

2). Исследовать зависимость освещенности « $E$ » от расстояния « $l$ », при постоянном номинальном напряжении  $U = 240$  В, с шагом  $\Delta l = 0.1$  м (0 до 0.4 м) от источника света. Построить график  $E = f(l)$ .

Таблица 2.

Тип лампы – <i>накаливания</i> . $U = 240$ В				
Расстояние $l$ , м	0.1	0.2	0.3	0.4
Освещенность $E$ , лк				

**Б).** Установить в зажим на станине вместо лампы накаливания галогенную лампу (2).

1). Установить фотоэлектрический люксметр на расстояние  $l = 0$  м. Исследовать зависимость освещенности « $E$ », создаваемой лампой от напряжения сети с шагом  $\Delta U = 30 \pm 2$  В от  $max$  260 до  $min$  80 В. Построить график  $E = f(U)$ .

Таблица 3.

Тип лампы – галогенная $l = 0$ м							
Напряжение, В	260	240	200	170	140	110	80
Ток, А							
Мощность, Вт							
Освещенность, лк							

2). Исследовать зависимость освещенности « $E$ » от расстояния « $l$ » при постоянном номинальном напряжении  $U = 240$  В с шагом  $l = 0.1$  м (0.1 до 0.4 м) от источника света. Построить график  $E = f(l)$ .

Таблица 4.

Тип лампы – галогенная $U = 240$ В				
Расстояние $l$ , м	0.1	0.2	0.3	0.4
Освещенность $E$ , лк				

**В).** Установить в зажим на станине вместо галогенной лампы энергосберегающую лампу (3).

1). Установить люксметр на расстоянии ( $l = 0$  м). Переключатель на люксметре установить на «100». Определить напряжение зажигания (записать), а также ток, мощность лампы и создаваемую ею освещенность:  $U_{\text{зак}} =$  ;  $I =$  ;  $P =$  ;  $E =$  .

2). «ЛАТРОМ» установить максимальное напряжение 260 В и с шагом  $\Delta U = 30 \pm 2$  В снижая напряжение исследовать зависимость  $E = f(U)$  до момента, когда лампа погаснет. Определить напряжение, ток и мощность при потухшей лампе. Построить график  $E = f(U)$ .

Таблица 5.

Тип лампы – <i>энергосберегающая</i> $l = 0$ м							
Напряжение, В	260	240	200	170	140	110	80
Ток, А							
Мощность, Вт							
Освещенность, лк							

3). Установить номинальное напряжение лампы  $U = 240$  В. Исследовать зависимость освещенности « $E$ » от расстояния « $l$ », при постоянном номинальном напряжении  $U = 240$  В, с шагом  $\Delta l = 0.1$  м (0 до 0.4 м) от источника света. Построить график  $E = f(l)$ .

Таблица 6.

Тип лампы – <i>энергосберегающая</i> $U = 240$ В				
Расстояние $l$ , м	0.1	0.2	0.3	0.4
Освещенность $E$ , лк				

Г). Установить в зажим на станине вместо энергосберегающей лампы **светодиодную лампу (4)**.

1). Установить люксметр на расстоянии ( $l = 0$  м). Переключатель на люксметре установить на «100». Определить напряжение зажигания (записать), а также ток, мощность лампы и создаваемую ею освещенность:  $U_{\text{заж}} =$  ;  $I =$  ;  $P =$  ;  $E =$  .

2). «ЛАТРОМ» установить максимальное напряжение 260 В и с шагом  $\Delta U = 30 \pm 2$  В снижая напряжение исследовать зависимость  $E = f(U)$  до момента, когда лампа погаснет. Определить напряжение, ток и мощность при потухшей лампе. Построить график  $E = f(U)$ .

Таблица 7

Тип лампы – <i>светодиодная</i> $l = 0$ м							
Напряжение, В	260	240	200	170	140	110	80
Ток, А							
Мощность, Вт							
Освещенность, лк							



3). Установить номинальное напряжение лампы  $U = 240\text{В}$ . Исследовать зависимость освещенности « $E$ » от расстояния « $l$ », при постоянном номинальном напряжении  $U=240\text{В}$ , с шагом  $\Delta l = 0.1\text{ м}$  (0 до 0.4 м) от источника света. Построить график  $E = f(l)$ .

Таблица 8

Тип лампы – <i>светодиодная</i>		$U = 240\text{В}$		
Расстояние $l$ , М	0.1	0.2	0.3	0.4
Освещенность $E$ , лк				

По результатам опытов составить отчет установленной формы. Начертить **конструкции** лампы накаливания, галогенной, люминесцентной, энергосберегающей и светодиодной ламп, а также **схемы** их включения. Подготовить ответы на вопрос - принцип работы этих ламп.

**ВЫВОДЫ:** провести анализ энергетических характеристик ламп по эффективности их работы.

## Лабораторная работа 4

### Исследование работы электрических водонагревателей

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Практическое ознакомление с устройством и работой электродных, элементных и индукционных водонагревателей и их параметрами; изучение техники безопасности их эксплуатации.
2. Исследование режимов работы и экспериментальное определение основных зависимостей и параметров трехфазных водонагревателей.
3. Определение электрических свойств подогреваемой воды.

#### **Классификация электроводонагревателей**

Электрические водонагреватели подразделяются на:

- нагреватели электродного типа (**электродные**);
- нагреватели на ТЭНах (**элементные**);
- **индукционные** нагреватели, которые также подразделяют на:
  - погружные нагреватели;
  - нагреватели трансформаторного типа;
  - нагреватели с наружным расположением индуктора.

По принципу выделения теплоты и передачи её жидкости электрические водонагреватели разделяют на два типа:

- 1 - прямого нагрева (электродные)- нагрев производится за счет выделения теплоты непосредственно в нагреваемой жидкости;
- 2 - косвенного нагрева - нагрев производят посредством теплопередачи от нагревательных элементов, помещенных в нагреваемую жидкость.

Принцип действия нагревателя основан на законе Джоуля – Ленца  $Q = I^2 R t$ , количество выделившейся в воде теплоты пропорционально квадрату силы тока, проходящего через воду, её сопротивлению и времени нагрева.

#### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Включать установки последовательно с электродным, элементным и индукционным водонагревателями при помощи штекерных разъемов. Результаты замеров занести в табл. № 1. Измерения проводить для объема 20 л.

Таблица 1

Элементный водонагреватель				
	1	2	3	Сумма
P				
Q				
S				
U				-
$\psi$				-
I				-
Cos $\varphi$				
Гц				
Температура воды на входе, °C				
Температура воды на выходе, °C				
Время нагрева, мин				
Объем нагретой воды, л				
Индукционный водонагреватель				
	1	2	3	Сумма
P				
Q				
S				
U				-
$\psi$				-
I				-
Cos $\varphi$				
Гц				
Температура воды на входе, °C				
Температура воды на выходе, °C				
Время нагрева, мин				
Объем нагретой воды, л				
Электродный водонагреватель				
	1	2	3	Сумма
P				
Q				
S				
U				-
$\psi$				-
I				-
Cos $\varphi$				
Гц				
Температура воды на входе, °C				
Температура воды на выходе, °C				
Время нагрева, мин				
Объем нагретой воды, л				

По результатам замеров определить:

а) производительность, л/ч:

$$q = \frac{V \cdot 60}{t} \quad (1)$$

где  $V$  – объем нагреваемой воды, л:

$t$  – время нагрева, мин.

б) коэффициент полезного действия нагревателя:

$$\eta = \frac{q \cdot c (\theta_{\text{кон.}} - \theta_{\text{нач.}})}{t} \quad (2)$$

где  $c$  – весовая теплоемкость воды (4,19 кДж/л×град)

в) удельный расход электроэнергии:

$$\alpha = \frac{P}{V \cdot (\theta_{\text{кон.}} - \theta_{\text{нач.}})} \quad \frac{\text{кВт} \times \text{с}}{\text{л} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{кДж}}{\text{л}} \quad (3)$$

**ВЫВОД:**

## Содержание

---

---

***Ответственный за выпуск В.Н. Острецов***

Заказ № 338 –Р. Тираж 30 экз. Подписано в печать 02.03.2023 г.  
ИЦ ВГМХА 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Емельянова, 1