

Изучение устройства и определение рабочих характеристик центробежного насоса.

## Лабораторная работа ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА.

### Цель работы:

1. Изучение устройства, основных технических показателей и характеристик центробежного насоса;
2. Экспериментальное определение рабочих характеристик насоса.

### Краткие теоретические сведения

**Насосами** называются гидравлические машины, предназначенные для создания напорного потока жидкой среды (напор – это энергетический показатель). Этот поток создается в результате силового воздействия на жидкость в **проточной полости** или **рабочей камере** насоса.

По характеру силового воздействия на жидкость различают насосы **динамические** и **объемные**.

В **динамическом** насосе силовое воздействие на жидкость осуществляется в проточной полости, постоянно сообщаемой со входом и выходом насоса.

В **объемном** насосе силовое воздействие на жидкость происходит в рабочей камере, периодически изменяющей свой объем и попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса.

Динамические насосы не обладают **свойством герметичности**. При неподвижном рабочем колесе, которое устанавливают в проточной полости (то есть при неработающем насосе), жидкость практически беспрепятственно может перетекать со входа на выход и наоборот, с выхода на вход. Из-за негерметичности динамические насосы не способны развивать высокие давления. Но в связи с тем, что проточная полость у этих насосов постоянно сообщена со входом и выходом и жидкость подается непрерывным потоком, динамические насосы имеют (по сравнению с объемными) более высокие подачи. Также из-за негерметичности динамические насосы (если они не снабжены специальными устройствами) не обладают **свойством самовсасывания**. Это значит, что если насос установлен выше уровня жидкости в баке, из которого она засасывается, то в начальный момент, когда всасывающий трубопровод и насос заполнены воздухом, насос не способен создать разрежение, достаточное для подъема жидкости, и начать работу. В связи с этим перед включением динамический насос необходимо заливать жидкостью и удалять из него воздух.

Объемные насосы обладают свойствами герметичности, самовсасывания, **способны создавать высокие давления**. Говорят, что если вытеснитель в рабочей камере имеет идеальное уплотнение, то такой насос способен создавать сколь угодно высокое давление. Но в связи с тем, что объемный насос постоянно работает в режиме переключения камер (каждая

камера периодически подключается то к всасыванию, то к выходу насоса), он имеет по сравнению с динамическим насосом **невысокую подачу**.

Таким образом, динамические насосы способны обеспечивать высокие подачи при относительно невысоких давлениях. Объемные насосы, наоборот, обеспечивают высокие давления при относительно невысоких подачах.

Объемные насосы наибольшее применение находят в машиностроительных гидроприводах.

При решении задач водоснабжения и водоотведения с целью механизации рабочих операций применяются чаще всего динамические насосы. Механизация рабочих операций создает предпосылки для последующей автоматизации управления этими процессами. При этом насос является важнейшей частью объекта регулирования, так как вносит существенный вклад в формирование характеристик объекта. Поэтому при автоматизации управления процессами водоснабжения и водоотведения актуальной является задача определения характеристик насоса.

К динамическим насосам относятся лопастные насосы, электромагнитные и насосы трения.

Лопастные насосы бывают двух типов: центробежные и осевые.

К насосам трения относятся вихревые, шнековые, дисковые, струйные насосы и др.

В области водоснабжения и водоотведения чаще всего используются центробежные насосы.

В центробежном насосе жидкость под действием центробежных сил перемещается через рабочее колесо от центра к периферии. Жидкость, отбрасываемая лопатками колеса, поступает в спиральный отвод и далее в напорный трубопровод. Спиральный отвод предназначен не только для улавливания жидкости, выходящей из рабочего колеса, но и для частичного преобразования ее кинетической энергии в потенциальную энергию давления.

Центробежные насосы классифицируют по следующим основным признакам:

1) по направлению оси расположения, вращения или движения рабочих органов: **горизонтальный, вертикальный;**

2) по расположению рабочих органов и конструкций опор: **консольный, моноблочный, с выносными опорами, с внутренними опорами;**

3) по расположению входа в насос: **с боковым входом, с осевым входом, двустороннего входа;**

4) по числу ступеней и потоков: **одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый, однопоточный, двухпоточный, многопоточный.**

На рисунке 1.1 показан в разрезе центробежный насос (горизонтальный, консольного типа, с осевым входом, одноступенчатый, однопоточный).

Рабочее колесо 4 установлено на вал 12 с помощью шпонки. Для фиксации рабочего колеса в осевом направлении предназначена гайка 19. Вал установлен на двух подшипниках качения 13, которые смазываются жидкой смазкой (во многих конструкциях насосов подшипники смазываются консистентной смазкой). Уплотняющий узел насоса состоит из грундбуксы 20, набивки сальника 10, кольца гидравлического уплотнения 19 и крышки сальника 11. Грундбукса служит для предохранения от износа корпуса, в котором установлен уплотняющий узел. Грундбукса представляет собой бронзовое ступенчатое кольцо.

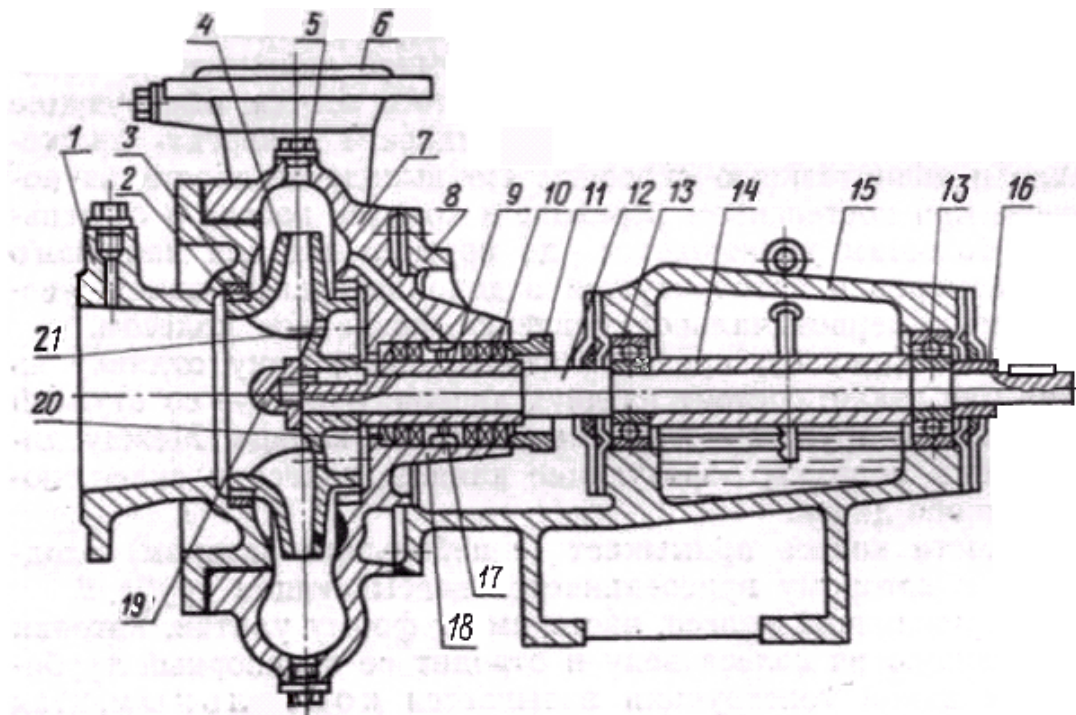


Рисунок 1.1 – Разрез центробежного насоса

1 – входной (всасывающий) патрубок, составляющий одно целое с крышкой; 2 – уплотняющее кольцо; 3 – защитное кольцо; 4 – рабочее колесо; 5 – пробка, закрывающая отверстия для подключения всасывающей трубы вакуум-насоса; 6 – выходной (нагнетательный) патрубок; 7 – спиральный корпус; 8 – кронштейн; 9 – втулка защитная; 10 – набивка; 11 – крышка сальника; 12 – вал; 13 – шарикоподшипники (опоры вала); 14 – распорная втулка; 15 – стойка опорная с масляной ванной; 16 – втулка распорная; 17 – кольцо гидравлического уплотнения; 18 – корпус сальника (целая отливка с корпусом насоса); 19 – гайка; 20 – грундбукса; 21 – разгрузочное отверстие

На рисунке 1.2 показан общий вид насосного агрегата, состоящего из электродвигателя 1, соединительной муфты 2 и центробежного насоса 3, которые смонтированы на плите 4.

Для подачи воды (кроме морской) и других жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, температурой до 85 °С, отечественной промышленностью выпускаются следующие типы насосов:

1) консольные и консольно-моноблочные насосы типов К и КМ – горизонтальные, одноступенчатые, с рабочими колесами одностороннего входа;

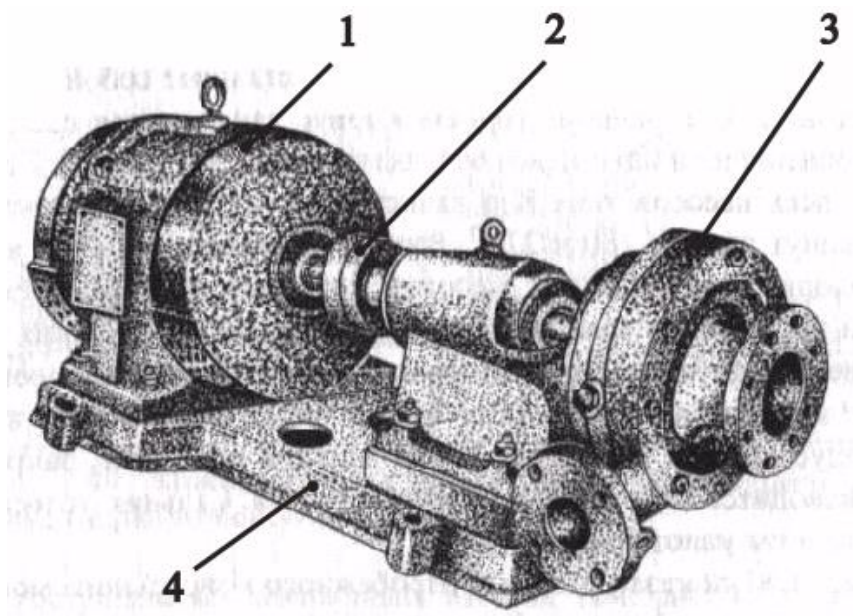


Рисунок 1.2 – Общий вид насосного агрегата

2) одноступенчатые насосы с двусторонним входом, с осевым разъемом корпуса типа Д;

3) многоступенчатые секционные насосы типа ЦНС;

В соответствии с ГОСТом марки центробежных насосов включают:

а) прописные буквы, указывающие на тип насоса;

б) цифры после букв, обозначающие подачу насоса, м<sup>3</sup>/ч;

в) цифры после наклонной черты либо после дефиса, обозначающие напор насоса, м.

Например:

К 8/18 – консольный насос с одним рабочим колесом, односторонним входом жидкости, подачей 8 м<sup>3</sup>/ч и напором 18 м;

КМ 90/20 – моноблок-насос консольного типа, с подачей 90 м<sup>3</sup>/ч и напором 20 м;

Д200-95 – одноступенчатый насос с двусторонним входом жидкости, подачей 200 м<sup>3</sup>/ч и напором 95 м.

Работа насоса характеризуется следующими основными параметрами: подачей, напором, давлением, мощностью, коэффициентом полезного действия (КПД) и частотой вращения.

**Подачей насоса  $Q$  (м<sup>3</sup>/с)** называется объем жидкости, проходящей в единицу времени через напорный (выходной) патрубок.

Подача насоса зависит от геометрических размеров проточной полости и рабочего органа и скорости его движения, а также от утечек жидкости внутри насоса между областями нагнетания и всасывания.

**Напором насоса  $H$**  (м) называется удельная (приходящаяся на единицу веса) энергия, приобретаемая жидкостью при прохождении через насос. Напор насоса

$$H = H_H - H_B,$$

где  $H_H$  – напор на выходе (в напорном патрубке) насоса, м;

$H_B$  – напор на входе насоса, м.

Учитывая, что напор в любом сечении трубопровода равен сумме геометрического  $z$ , пьезометрического  $\frac{p}{\rho \cdot g}$  и скоростного  $\frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g}$  напоров ( $p$  – давление,  $V$  – средняя скорость жидкости,  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса), можно записать:

$$H = (z_H - z_B) + \frac{p_H - p_B}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_H \cdot V_H^2 - \alpha_B \cdot V_B^2}{2 \cdot g}. \quad (1.1)$$

Индекс “н” относится к напорному патрубку (выходу насоса), “в” – к входному.

**Давление насоса  $p$**  определяется из выражения

$$p = \rho \cdot g \cdot H. \quad (1.2)$$

**Мощностью насоса  $N$**  называется мощность, потребляемая насосом:

$$N = M \cdot \omega, \quad (1.3)$$

где  $M$  – крутящий момент на валу насоса;

$\omega$  – угловая скорость вала насоса.

**Полезной мощностью насоса  $N_{II}$**  называется мощность, приобретаемая жидкостью при прохождении ею насоса:

$$N_{II} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H. \quad (1.4)$$

Отношение полезной мощности  $N_{II}$  к мощности насоса  $N$  называется **коэффициентом полезного действия (КПД) насоса:**

$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N}. \quad (1.5)$$

При проектировании насосных установок необходимо знать рабочие характеристики насоса, с тем чтобы обеспечить работу насоса в области максимальных значений КПД.

**Рабочие характеристики** центробежного насоса – это зависимости  $H = f_1(Q)$ ,  $N = f_2(Q)$  и  $\eta = f_3(Q)$ . Получают рабочие характеристики при постоянной частоте вращения вала насоса. Зависимость  $H = f_1(Q)$  называют **главной характеристикой**. Рабочие характеристики насоса, полученные при номинальной частоте вращения, называют **внешними**.

Проводя испытания насоса при различных частотах вращения вала насоса, иногда получают **универсальную характеристику** насоса, представляющую собой семейство зависимостей  $H = f(Q)$ , построенных при постоянных значениях КПД. Знание универсальной характеристики насоса особенно важно в тех случаях, когда привод насоса осуществляется от двигателя, имеющего переменную частоту вращения, например, двигателя внутреннего сгорания.

Для определения всасывающей способности насоса и условия возникновения кавитации проводят кавитационные испытания и строят **кавитационные характеристики** – зависимости  $H = f_1(H_V)$ ,  $Q = f_2(H_V)$  и  $\eta = f_3(H_V)$ , где  $H_V$  – вакуумметрическая высота всасывания насоса. Кавитационные характеристики определяют (как и рабочие) при постоянной частоте вращения вала насоса. Вакуумметрическая высота всасывания  $H_V = p_{\text{ВАК}} / (\rho \cdot g)$ , где  $p_{\text{ВАК}}$  – вакуумметрическое давление на входе насоса.

## Экспериментальная установка

Стенд предназначен для проведения экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования (САР), применяемых в настоящее время в водоснабжении:

1. С регулированием по уровню;
2. С регулированием по давлению.

Кроме того, на стенде имеется возможность проводить исследования отдельных устройств, используемых при автоматизации водоснабжения. На стенде можно:

1. Определять характеристики потенциометрического датчика уровня (ДУ);
2. Определять характеристики электромагнитного реле;
3. Определять рабочие характеристики центробежного насоса;

4. Определять различными способами расход жидкости;
5. Изучать устройство реле давления и приборов для измерения температуры и давления, определять пороги срабатывания реле давления, проводить измерения температуры и давления.

Общий вид стенда представлен на рисунке 1.3.

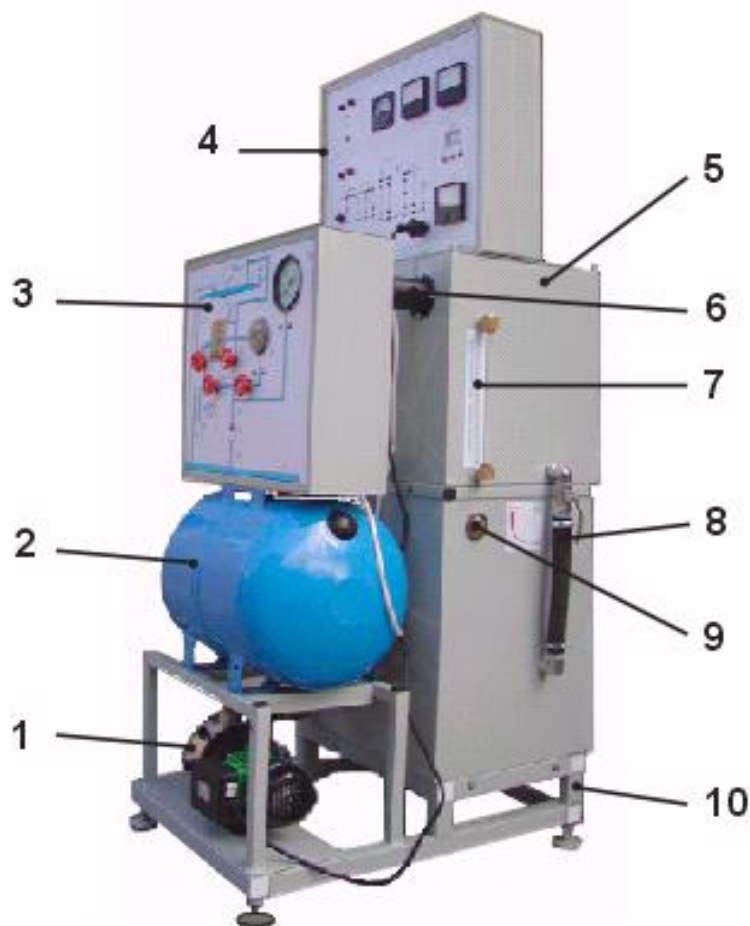


Рисунок 1.3 – Общий вид стенда

Стенд состоит из следующих основных устройств:

- 1 – насосная установка, в состав которой входят центробежный насос (Н) и однофазный приводной электродвигатель;
  - 2 – пневматический бак (ПБ);
  - 3 – модуль гидравлического управления (МГУ);
  - 4 – модуль электрического управления;
  - 5 – гидробак верхний (Б2);
  - 6 – потенциметрический датчик уровня (ДУ);
  - 7 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ);
  - 8 – гидробак нижний (Б1);
  - 9 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке (заменен на трубчатый указатель);
  - 10 – рама стенда.
- (В скобках приведены обозначения устройств, принятые ниже на гидравлической схеме).



Номинальная мощность электродвигателя – 600 Вт.

Тип насоса – КРМ 80.

Модули гидравлического и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

На рисунке 1.4 приведена гидравлическая схема стенда (эта же схема показана на передней панели модуля гидравлического управления). В корпусе модуля гидравлического управления установлены все устройства, которые на гидравлической схеме (рисунок 1.4) изображены внутри прямоугольника, выделенного штрихпунктирной линией. Это следующие устройства:

КО – клапан обратный;

РД – реле давления;

В1...В5 – вентили;

П – имитатор потребителей воды;

Т – датчик температуры;

РА – расходомер;

МН – манометр.

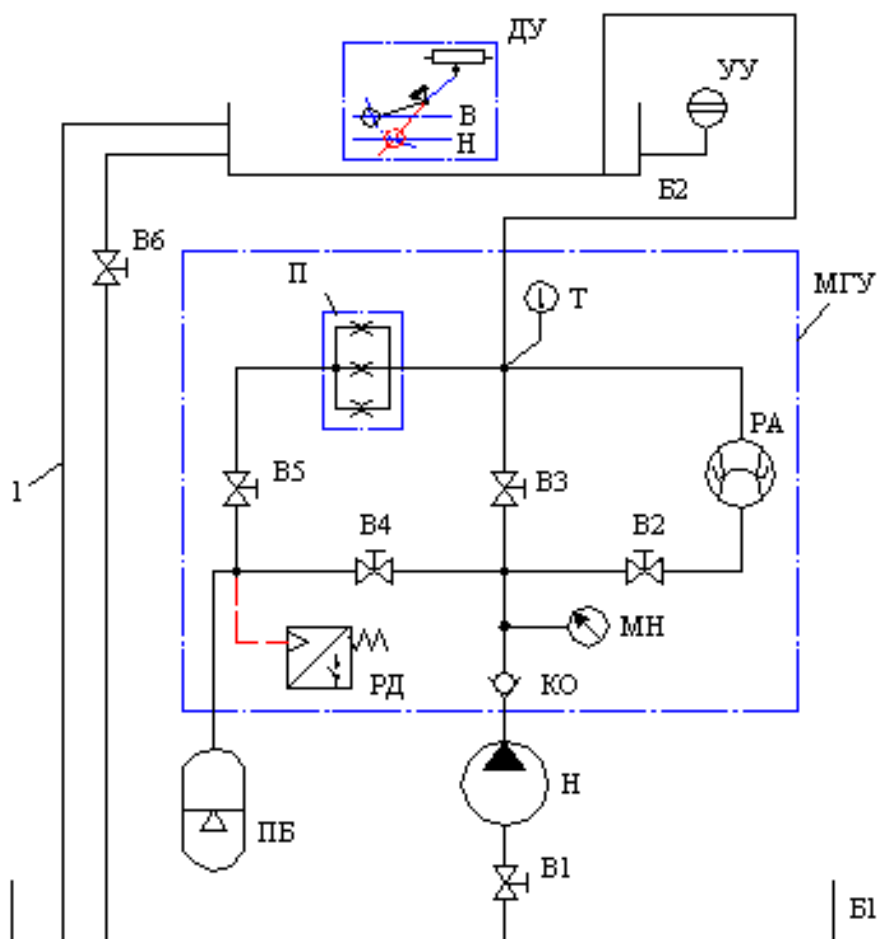


Рисунок 1.4 – Схема гидравлическая стенда

Обратный клапан в напорную линию насоса установлен с целью предотвращения утечек воды из пневматического бака ПБ через неработающий гидронасос Н в нижний гидробак Б1.

Вентиль В1 установлен во всасывающем трубопроводе, соединяющем нижний гидробак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации стенда всегда открыт. Закрывают вентиль при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В6 установлен в трубопроводе, соединяющем верхний и нижний гидробаки.

В дно верхнего гидробака вварена труба перелива (гидролиния 1 на рисунке 1.4) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака. То есть максимальный уровень воды в верхнем гидробаке примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака через трубу перелива перетекает в нижний гидробак. Благодаря этому при любых ситуациях, которые только могут возникнуть при работе стенда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса Н, так как работа насоса всухую невозможна.

Электрическая схема стенда приведена на рисунке 1.5 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления). На схеме обозначено:

ДУ – потенциометрический датчик уровня (установлен в верхнем гидробаке, поз. 6 на рисунке 1.3);

ЭМР – электромагнитное реле;

РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления);

ЭД – электродвигатель привода гидронасоса;

$R_H$  – сопротивление нагрузки;

A, V, W – амперметр, вольтметр, ваттметр соответственно;

HL2 – лампочка световой индикации.

Напряжение питания электрической системы 220 В, ток переменный, 50 Гц. Напряжение питания потенциометрического датчика уровня – 12 В, ток постоянный.

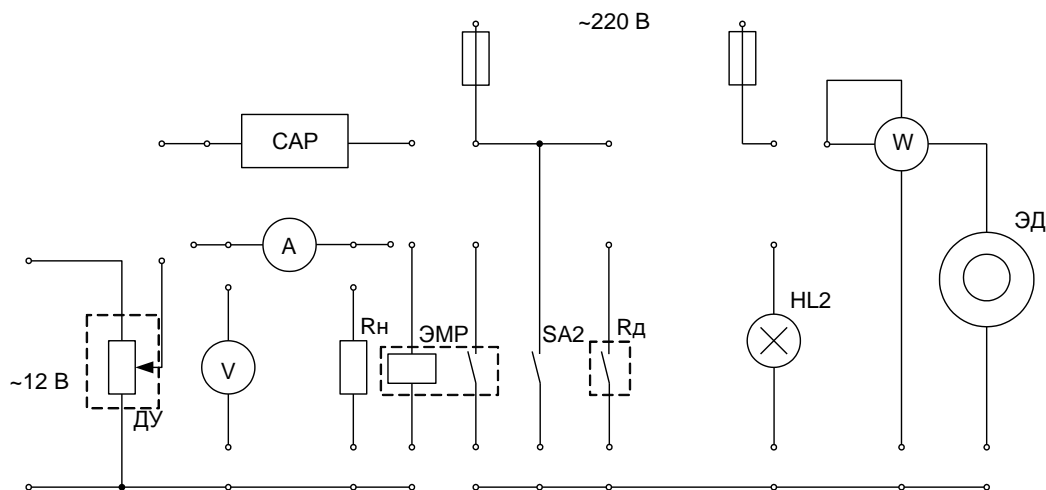


Рисунок 1.5 – Электрическая схема стенда

На передней панели стенда также установлен электронный секундомер:

- СЕК – цифровое табло секундомера (трехразрядное);
- Вкл., Счет, Сброс – кнопки управления секундомером (Вкл. – включение питания; Счет – включение и выключение секундомера; Сброс – сброс показаний цифрового табло).

**Внимание:** при работе секундомера (когда идет подсчет времени) **запрещается нажимать** кнопку “Сброс”.

В нижнем правом углу панели модуля электрического управления установлен прибор, регистрирующий температуру рабочей жидкости (Т, °С).

В линиях питания электрической системы стенда (на входе) установлены предохранители FU1, FU2, FU3 и FU4, а также предусмотрена световая индикация исправности электрической системы (HL1).

Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек производится в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены “жирной” штриховой линией.

Включение питания стенда осуществляется путем установки тумблера «СЕТЬ» в верхнее положение. Тумблер расположен в верхнем левом углу передней панели модуля электрического управления.

### **Перед началом работы на стенде необходимо:**

1. Заправить нижний гидробак стенда водой. Для этого необходимо снять крышку (с установленным на ней модулем электрического управления) верхнего гидробака и через трубу перелива заполнить нижний гидробак. Заправка бака осуществляется до верхней отметки указателя уровня, установленного в нижнем гидробаке (поз. 9, рисунок 1.3).

### **2. Заземлить корпус стенда.**

**Объектом испытаний** является центробежный насос типа КРМ-80. Привод насоса осуществляется от однофазного двигателя (напряжение 220 В).

## **Проведение испытаний**

### **Подготовка установки к работе**

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 1.6 (на передней панели модуля электрического управления).

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть (при управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

3. Открыть вентиль В6 (в открытом положении рукоятка управления параллельна оси трубопровода).

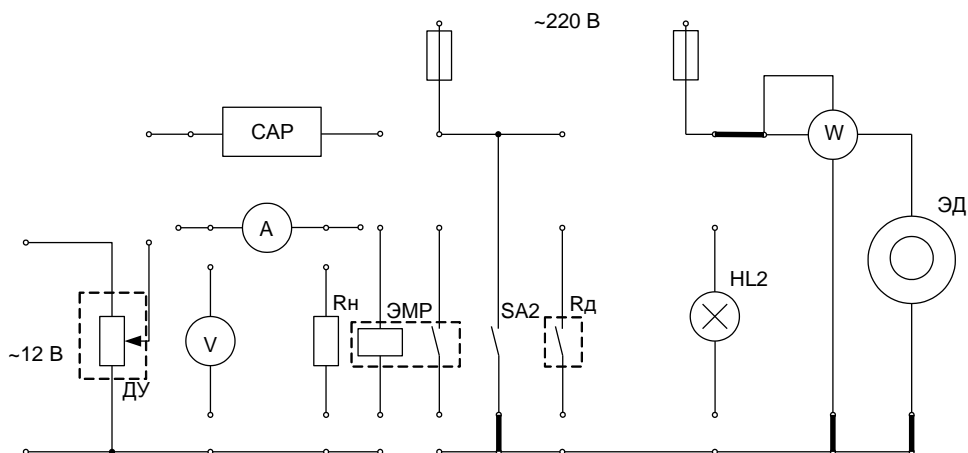


Рисунок 1.6 – Схема электрических соединений

### Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в подготовке установки к работе, необходимо:

1. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Насос включить тумблером SA2.

2. Провести экспериментальные исследования по определению рабочих характеристик насоса. Вначале, воздействуя на вентиль В2, необходимо определить максимальное давление, которое развивает насос (по манометру МН). Затем, разбив диапазон изменения давления насоса на 5 интервалов, провести 6 опытов. В каждом опыте давление должно быть постоянным. Первый опыт следует начать с минимального давления насоса (то есть при минимальном сопротивлении сети, на которую работает насос).

В каждом опыте необходимо измерять:

1. Давление на выходе насоса  $p_H$  (по манометру);  
 2. Время  $t$  прохождения через расходомер объема воды  $W$  (объемом  $W$  необходимо задаваться, принимая, например,  $W = 0,01 \text{ м}^3$  ( $10 \text{ дм}^3$ )).

3. Мощность  $N_{ЭД}$ , подводимую к электродвигателю (по ваттметру) (при определении мощности показание ваттметра необходимо умножить на 100, тогда мощность будем получать в ваттах).

Результаты измерений необходимо занести в таблицу 1.1.

**Внимание:** для избежания преждевременного выхода из строя насоса запрещается продолжительное время (более 30 сек) работать при максимальных давлениях, так как в этом случае может не быть потока воды

через насос (это видно по расходомеру, стрелка которого в этом случае не движется). Отсутствие протока воды может приводить к перегреву насоса.

Таблица 1.1 – Результаты исследований

№ опыта	$P_H$ – давление на выходе насоса, кгс/см <sup>2</sup>	$W$ – объем воды, проходящей через расходомер, м <sup>3</sup>	$t$ – время прохождения объема $W$ , с	$N_{эл}$ – мощность на входе электродвигателя, Вт	$Q$ – подача насоса, м <sup>3</sup> /с	$N$ – мощность насоса, Вт	$H$ – напор насоса, м	$N_{пл}$ – полезная мощность насоса, Вт	$\eta$ – КПД насоса
1									
...									
6									

После проведения всех опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

## Обработка результатов

При обработке результатов исследований приняты следующие допущения:

1) давление на входе насоса ( $p_B$ ) принято равным атмосферному давлению (оснований для такого допущения два: наличие подпора жидкости на входе в насос, поскольку уровень воды в нижнем баке выше уровня расположения насоса; сравнительно низкие потери давления во всасывающем трубопроводе);

2) вертикальные координаты на входе и выходе насоса равны между собой, то есть  $z_H = z_B$  (не учитывается вертикальный размер насоса);

3) средние скорости течения жидкости на входе и выходе насоса равны между собой, то есть  $V_H = V_B$ .

Подача насоса равна:

$$Q = \frac{W}{t}.$$

Мощность насоса

$$N = N_{эл} \cdot \eta_{эл},$$

где  $\eta_{эл}$  – КПД электродвигателя (принять постоянным, равным 0,5).

Напор насоса определяется из формулы (1.1), которая с учетом принятых допущений имеет вид:

$$H = \frac{p_H}{\rho \cdot g}.$$

Примечание – Давление  $p_H$  необходимо в формулы подставлять в паскалях (Па).  
 $1 \text{ кгс/см}^2 = 10^5 \text{ Па}$ .

Полезная мощность насоса

$$N_{п} = p_H \cdot Q.$$

КПД насоса равен:

$$\eta = \frac{N_{п}}{N}.$$

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу 1.1, а затем построить рабочие характеристики насоса:  $H = f_1(Q)$ ,  $N = f_2(Q)$  и  $\eta = f_3(Q)$ .

### **Указания по оформлению отчета**

Отчет должен содержать описание цели лабораторной работы, краткие теоретические сведения об устройстве центробежного насоса, классификация центробежного насоса по основным признакам, основные технические показатели, рабочие характеристики центробежного насоса, кавитационные характеристики центробежного насоса, результаты проведенных экспериментов, оформленные в виде таблицы, графиков, а также необходимую схему и расчеты для одного из опытов. В отчете должны быть приведены выводы по графикам. Отчет оформляется на листах формата А4 в текстовом редакторе.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения:
  - Устройство ЦН (рисунок в разрезе);
  - Классификация ЦН по основным признакам;
  - Основные технические показатели;
  - Рабочие характеристики ЦН;
  - Кавитационные характеристики ЦН.
3. Проведение испытаний:
  - Схема электрических соединений;
  - Таблица результатов исследований.
4. Обработка результатов:

- Привести пример расчета показателей для одного опыта;
  - Построить графики зависимостей рабочих характеристик.
5. Выводы по графикам.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение и классификация гидронасосов, достоинства и недостатки динамических и объемных насосов.
2. Основные технические показатели и характеристики насосов.
3. Устройство, принцип работы, классификация, обозначения, область применения центробежных насосов.
4. Методика экспериментальных исследований по определению рабочих характеристик центробежного насоса.
5. Анализ результатов исследований центробежного насоса.