

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки
21.03.01 «Нефтегазовое дело»
дневной формы обучения*

Часть 2



Могилев 2025

УДК 532:62-82
ББК 30.123:34.447
Г46

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Транспортные и технологические машины»
«29» октября 2025 г., протокол № 2

Составитель канд. техн. наук, доц. А. П. Смоляр

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. Е. Науменко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» дневной формы обучения.

Учебное издание

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

Часть 2

Ответственный за выпуск И. В. Лесковец

Корректор А. А. Подошевко

Компьютерная верстка Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
Государственный Университет
имени А.Н. Тихонова
имени А.Н. Тихонова

«белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/156 от 07.03.2019.

© Белорусско-Российский
университет 2025

Содержание

9 Лабораторная работа № 9. Изучение конструкций и снятие характеристик пластинчатого насоса	4
10 Лабораторная работа № 10. Изучение конструкций и снятие характеристик распределителей	8
11 Лабораторная работа № 11. Изучение конструкций и регулировка предохранительных клапанов	13
12 Лабораторная работа № 12. Изучение аппаратов для управления расходом рабочей жидкости.....	16
13 Лабораторная работа № 13. Изучение конструкций трубопроводов, их соединений и арматуры	19
14 Лабораторная работа № 14. Изучение работы водоструйной водоподъемной установки.....	34
15 Лабораторная работа № 15. Изучение работы воздушного водоподъемника (эрлифта).....	40
Список литературы	47

Часть 2

9 Лабораторная работа № 9. Изучение конструкций и снятие характеристик пластинчатого насоса

Цель работы: изучить конструкции пластинчатых насосов, приобрести практические навыки построения характеристик пластинчатого насоса.

Общие сведения

Различают несколько типов пластинчатых машин. По количеству циклов изменения рабочей камеры: однократного и двукратного действия; по возможности регулирования: регулируемые и нерегулируемые насосы.

В машинах однократного действия за один оборот вала гидромашины процесс всасывания и нагнетания осуществляется один раз, в машинах двукратного действия – два раза.

Подвод и отвод жидкости в них может производиться через каналы на периферии неподвижного корпуса или через осевые каналы распределительной оси, на которой вращается ротор с пластинами (лопастями).

Пластинчатые (шиберные) насосы могут использоваться в режиме гидромотора только в том случае, если в пространстве под пластинами расположены пружины, осуществляющие прижим пластин к корпусу статора. При отсутствии таких пружин насос не является обратимым.

В конструкции пластинчатых насосов пластины обычно направлены немного вперед по направлению вращения ротора для уменьшения изгибающих моментов, действующих на пластины.

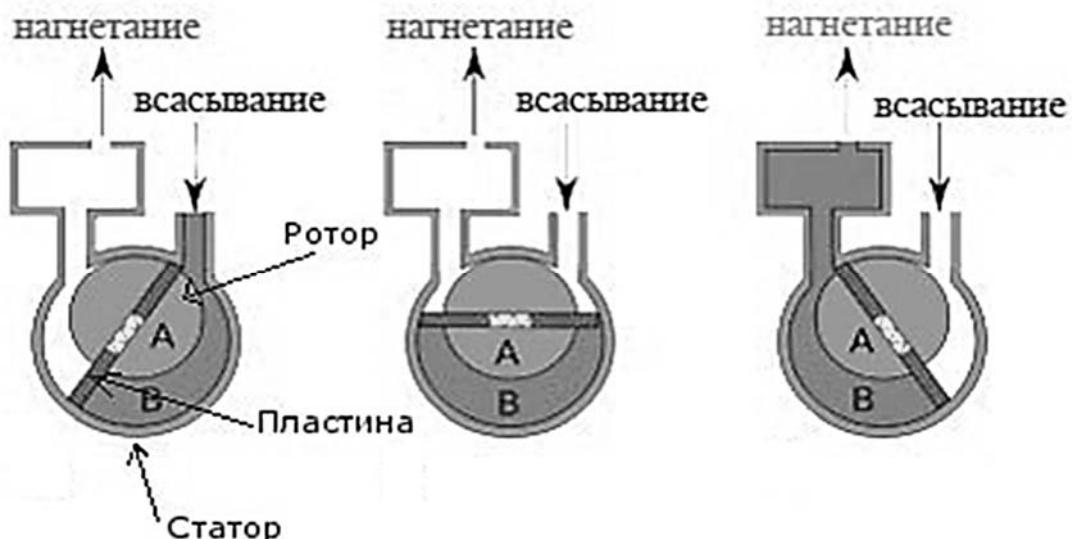
Пластинчатые насосы были разработаны для работы со средами, которые загустевают в случае изменения температурного режима. Способность техники поддерживать постоянную температуру за счет наличия в корпусе особой изолирующей рубашки позволяет обеспечить жидкости постоянные показатели вязкости. В рубашке происходит постоянная циркуляция теплоносителя, не позволяющего температуре внутри рабочей камеры снижаться.

Оборудование пластинчатого типа за счет специфической конструкции обеспечивает эффективную перекачку рабочей жидкости разного типа. В том числе сред, содержащих нерастворимые примеси, разного размера абразивы, а также смолянистые и клеевые смеси. Пластинчатый насос характеризуется значительной мощностью всасывания. Направление перекачки можно легко изменить, поскольку оборудование с одинаковым усилием функционирует в обе стороны.

Ротор внутри рабочей камеры пластинчатого насоса располагается не по ее центру, а с эксцентрикитетом, т. е. ближе к его стенкам (рисунок 9.1). Это обеспечивает возможность образования полости, имеющей форму полумесяца. В процессе запуска оборудования и начала вращения ротора внутрь рабочей камеры всасывается перекачиваемая среда. Вращение ротора приводит к образованию внутри центробежной силы, которая способствует движению пластин

по каналам от центра к стенкам корпуса. Пластины образуют карманы, внутри которых находится перекачиваемая среда. Она постепенно движется внутри карманов по корпусу рабочей камеры. Последующее вращение ротора приводит к возвращению пластин в первоначальное положение. Это нагнетает жидкость, которая под небольшим напором подается уже из рабочей камеры через выходной патрубок далее по системе.

a)



б)

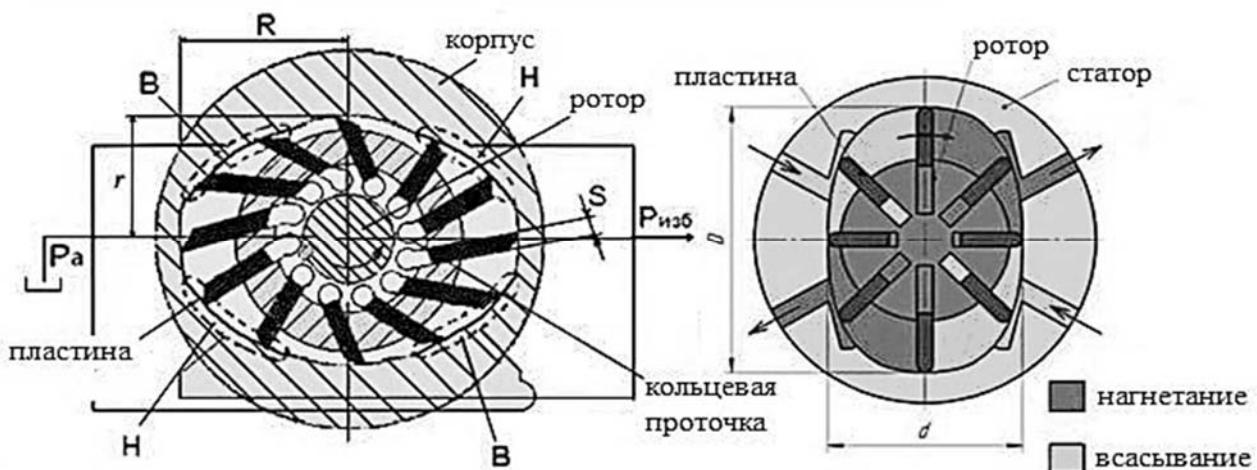


Рисунок 9.1 – Пластинчатый насос однократного (а) и двукратного (б) действия

Преимущества и специфика эксплуатации пластинчатых насосов.

1 Пластинчатые насосы позволяют осуществлять транспортировку сред с критически низкими показателями вязкости. При этом гарантируют обеспечение хорошего напора перекачки.

2 Пластины, изготавливаемые из углеродита, отличаются высокой степенью износа, что исключает необходимость частого обслуживания и ремонта техники.

3 При помощи пластинчатых насосов можно проводить перекачку растворителей.

4 В случае кратковременных случаев «сухого» хода оборудование не выходит из строя.

5 Пластинчатый насос позволяет создать отличный вакуум для всасывания среды в больших объемах.

При этом необходимо отметить, что техника не подходит для работы на высоком давлении и нуждается в серьезном обслуживании в случае выхода из строя. Последнее обусловлено большим количеством запасных частей в конструкции пластиначатого насоса.

Основные сферы применения: перекачивать аэродопливо; транспортировать различные аэрозоли; работать со смазочными материалами и топливом разных типов; осуществлять перекачку спиртов и растворителей; транспортировать аммиак, а также сжиженный нефтяной газ; транспортировать фреон в холодильном оборудовании.

Описание экспериментальной установки

Схема лабораторной установки (рисунок 9.2) включает электродвигатель 4 и регулируемый пластиначатый насос 3. Для предохранения системы от перегрузок служит предохранительный клапан 6. Для очистки рабочей жидкости на всасывающей магистрали установлен фильтр 1. Измерение давления всасывания и нагнетания производится вакуумметром 2 и манометром 5. Распределитель 7 переключает направление потока жидкости к мотору 10 или цилинду 9. Гидроцилиндр, используемый в установке, с одной рабочей полостью и распределитель 8 служат для переключения рабочего и обратного хода гидроцилиндра. Жидкость всасывается насосом и сливается из системы в бак 11.

Регулирование насоса осуществляется винтом на крышке насоса. Измерение расхода и частоты вращения мотора осуществляются расходомером и тахометром (на схеме условно не показаны).

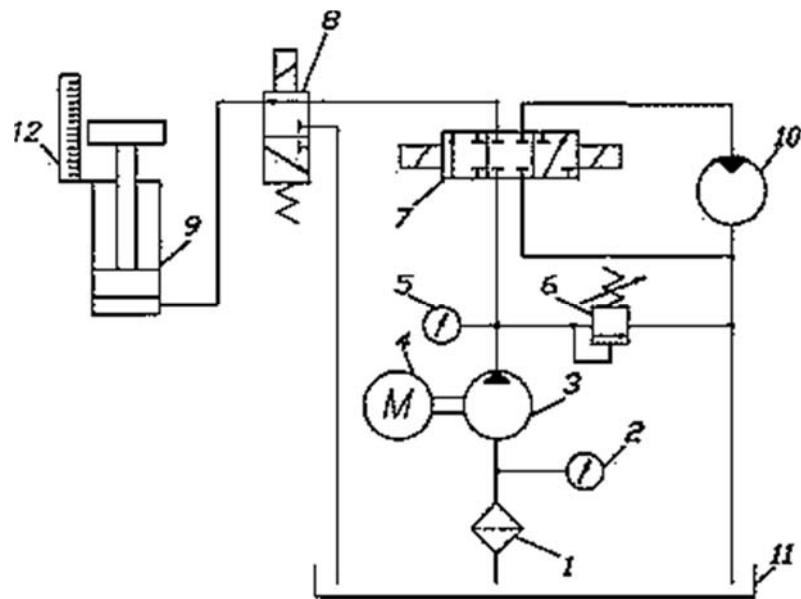


Рисунок 9.2 – Схема опытной установки

Порядок проведения работы

1 Переключателем на передней панели установить распределитель 7 в правое положение (жидкость подается к гидромотору).

2 Регулировочным винтом насоса установить минимальное давление в системе (контролируя его по манометру 5).

3 Измерить объем жидкости, давление, частоту вращения и записать эти значения в таблицу 9.1.

4 Опыт повторить 8–10 раз при различных значениях давления. Данные экспериментов и расчетов заносятся в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Таблица опытных данных

Номер опыта	Давление p , Па	Частота вращения n , мин^{-1}	Расход на гидромоторе $Q_{\text{ем}}$, $\text{дм}^3/\text{с}$	Объем жидкости V , дм^3	Время t , с	Расход в трубопроводе $Q_{\text{тп}}$, $\text{дм}^3/\text{с}$	Мощность N , Вт
1							
...							

Обработка опытных данных

1 Определить расход жидкости в трубопроводе по формуле

$$Q_{\text{тп}} = \frac{V}{t}. \quad (9.1)$$

2 Определить расход жидкости, проходящей через гидромотор, по формуле

$$Q_{\text{ем}} = \frac{V_{0\text{ем}} \cdot n_{\text{ем}}}{\eta_{\text{об.ем}}}, \quad (9.2)$$

где $V_{0\text{ем}}$ – рабочий объем гидромотора, см^3 ;

$n_{\text{ем}}$ – текущая частота вращения гидромотора;

$\eta_{\text{об.ем}}$ – объемный КПД гидромотора, $\eta_{\text{об.ем}} = 0,98$.

3 Сравнить значения расходов в трубопроводе и на гидромоторе.

4 Определить мощность насоса по формуле

$$N = p \cdot Q. \quad (9.3)$$

5 Построить графики зависимостей $Q_{\text{тп}} = f(p)$, $N = f(p)$.

6 Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Какие насосы называются пластинчатыми?
- 2 Какие движения совершают рабочие органы пластинчатых насосов?
- 3 Какие параметры имеет пластинчатый насос Г 12-53?
- 4 Как классифицируют пластинчатые насосы по возможности регулирования рабочего объема?
- 5 Что такое «эксцентризитет»?
- 6 Какие объемные насосы называются регулируемыми?
- 7 За счет изменения какого геометрического размера изменяется подача в пластинчатых насосах?
- 8 Каким способом осуществляется прижим пластин к статору в процессе работы насоса?
- 9 Какими приборами можно определить подачу пластинчатого насоса?
- 10 От чего зависит развивающаяся мощность насоса?

10 Лабораторная работа № 10. Изучение конструкций и снятие характеристик распределителей

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия распределителей; овладение навыками снятия характеристик распределителей.

Общие сведения

Направляющие гидроаппараты предназначены для изменения направления движения потока рабочей жидкости путем полного открытия или полного закрытия проходного сечения. С помощью направляющих гидроаппаратов осуществляются пуск, изменение направления движения и остановка гидродвигателей.

Основными параметрами направляющих гидроаппаратов являются номинальный расход, номинальное давление и условный проход.

Под условным проходом понимают диаметр круга, площадь которого равна площади характерного проходного сечения канала устройства или площади проходного сечения присоединяемого трубопровода. Условный проход стандартизирован.

Наибольшее распространение получили гидрораспределители с запорно-регулирующим элементом золотникового типа. Такие распределители компактны и технологичны. Золотники этих распределителей легко уравновешиваются от действия статического давления жидкости в радиальном и осевом направлениях.

По числу подсоединенных линий различают двух-, трех-, четырехлинейные и другие распределители. В зависимости от числа позиций (положений золотника) распределители могут быть двух-, трех- и четырехпозиционные. У двухпозиционных распределителей только два фиксированных положения золотника, у трехпозиционных – три (одно нейтральное и два рабочих, обеспечивающих работу гидродвигателя в противоположных направлениях) (рисунок 10.1).

Четырехпозиционные распределители имеют четыре положения золотника (как правило, четвертая позиция является «плавающей», при которой возможно движение гидродвигателя под действием внешних нагрузок). Гидрораспределители изображаются на схемах в виде нескольких рядом расположенных прямоугольников, число которых равно числу позиций золотника (рисунок 10.2).

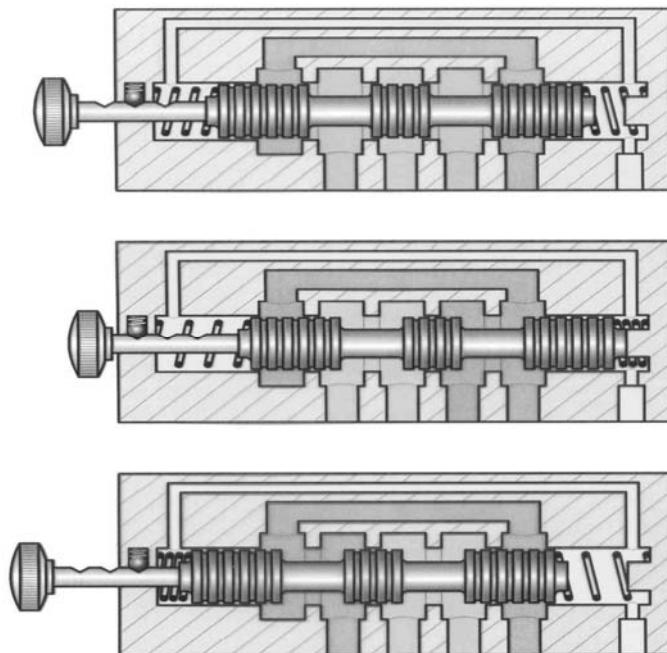


Рисунок 10.1 – Принцип действия четырехлинейного трехпозиционного распределителя

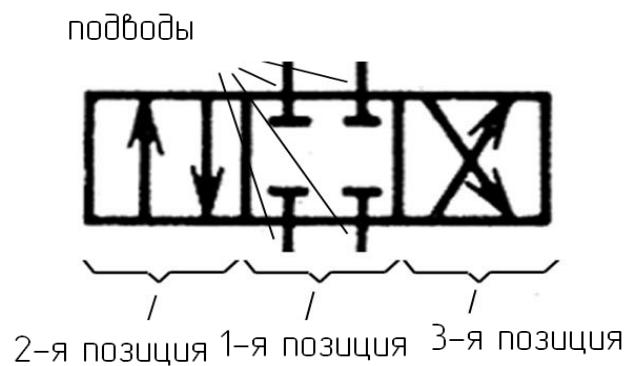


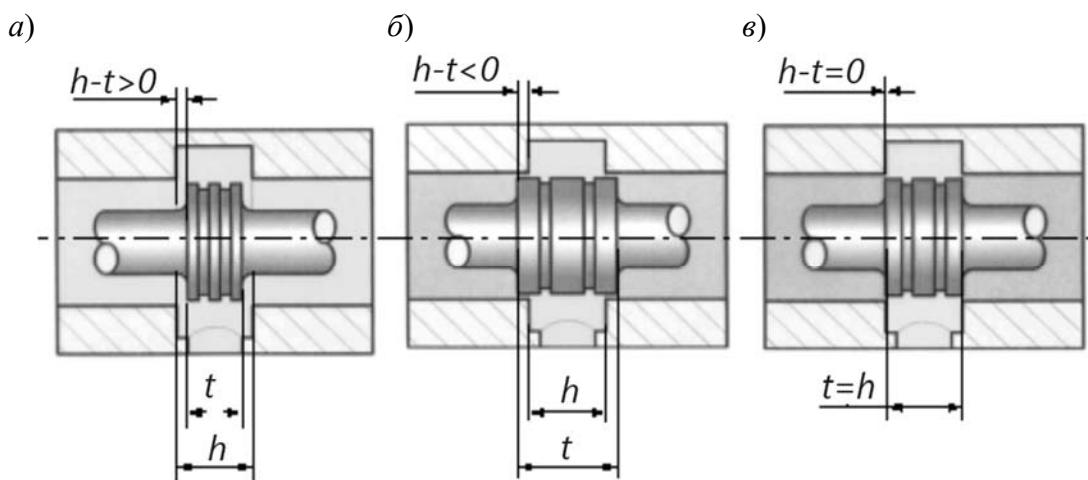
Рисунок 10.2 – Схема распределителя

Линии внутри каждого прямоугольника соответствуют схеме соединения или перекрытия каналов в этой позиции. Линии снаружи одного из прямоугольников, соответствующего позиции золотника «на складе» (чаще всего нейтральной), показывают пути подвода жидкости к распределителю и отвода ее к гидродвигателю и в бак. Чтобы представить схемы соединения каналов при другой позиции золотника, необходимо мысленно передвинуть соответствующий контур на место исходного, оставляя подводящие линии в прежнем положении.

Если необходимо показать схему соединения каналов в промежуточном положении золотника (между двумя фиксированными положениями), то это изображается на схеме штриховыми линиями.

Отверстия для присоединения к другим устройствам или трубопроводам обозначаются следующими буквами (ГОСТ 26890–86): P – отверстие для входа рабочей жидкости под давлением (напорный канал); T – отверстие для выхода рабочей жидкости под давлением (сливной канал); A, B – отверстия для подсоединения к другим устройствам (рабочие каналы); X, Y, V – отверстия для подсоединения к линиям управления (каналы управления); L – отверстия для подсоединения дренажных трубопроводов (дренажные каналы); M – отверстие для манометра.

По перекрытию проходных каналов золотником различают распределители с положительным, нулевым и отрицательным перекрытием (рисунок 10.3).



a – положительное, *б* – отрицательное, *в* – нулевое

Рисунок 10.3 – Схемы расположения золотников в расточке гидрораспределителя

Распределители с нулевым перекрытием каналов технологически трудно изготовить. Распределители с отрицательным перекрытием каналов находят применение в высокочувствительных системах автоматического регулирования. Чаще используются распределители с положительным перекрытием проходных каналов, обеспечивающие высокую динамическую устойчивость привода, поскольку имеют зону нечувствительности. Такие распределители технологически проще изготовить, чем распределители с нулевым перекрытием, и они не имеют больших утечек рабочей жидкости.

Гидрораспределители могут иметь параллельную, последовательную и индивидуальную схемы соединения каналов.

При параллельной схеме общий напорный канал H позволяет одновременно соединять с насосом несколько гидродвигателей. Отводящие каналы $C1$ и $C2$ рабочих секций соединены между собой и со сливной гидролинией (отверстие T) в сливной секции распределителя. Давление в системе определяется сопротивлением наименее нагруженного гидродвигателя.

При последовательной схеме в гидрораспределителе устанавливают промежуточную секцию, которая позволяет совмещать выполнение рабочих операций двумя гидродвигателями от одного потока. В этом случае каждая рабочая секция распределителя имеет свой напорный Н и отводящие С1 и С2 каналы. Жидкость, сливаемая из первого по ходу ее движения гидродвигателя, поступает в следующий гидродвигатель. Давление в системе для такой схемы соединения определяется суммарной нагрузкой гидродвигателей. При такой схеме соединения каналов во всех отводах рабочих секций, расположенных за промежуточной секцией, должны быть установлены дополнительные предохранительные клапаны, исключающие перегрузки.

Индивидуальная схема обеспечивает подвод всего потока жидкости только к одному гидродвигателю. При одновременном включении всех гидродвигателей будет работать тот, золотник управления которым расположен ближе к напорной гидролинии (канал p). При такой схеме соединения каждая рабочая секция распределителя имеет свой напорный канал Н за счет установки промежуточной секции. Сливные каналы С1 и С2 являются общими. Регулировочная характеристика (рисунок 10.4) определяет зависимость расхода рабочей жидкости Q от перемещения золотника l . Быстродействие распределительного устройства характеризуется крутизной наклона регулировочной характеристики, оцениваемой коэффициентом усиления по расходу:

$$k_Q = \frac{\Delta Q}{\Delta l} = \operatorname{tg} \alpha . \quad (10.1)$$

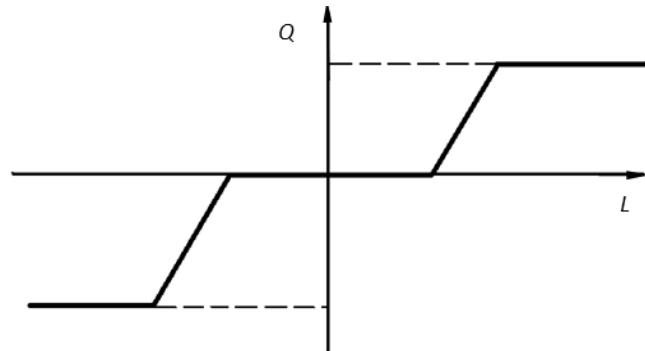


Рисунок 10.4 – Регулировочная характеристика распределителя

Порядок выполнения работы

Изучить конструкцию стенда НТЦ-11.95 «Автоматизированный гидропривод» в соответствии с рисунком 10.5. Выбрать распределитель, который позволяет проводить регулирование потока жидкости по току или напряжению. Разработать принципиальную гидравлическую схему, позволяющую провести испытания гидрораспределителя. Собрать схему на стенде. Провести пробное включение с целью выявления работоспособности гидросхемы и определения

предварительных характеристик распределителя. Разработать таблицу замеров. Провести серию из пяти-шести экспериментов и занести результаты замеров в таблицу измерений. Построить графическую зависимость, отражающую характеристику гидрораспределителя.

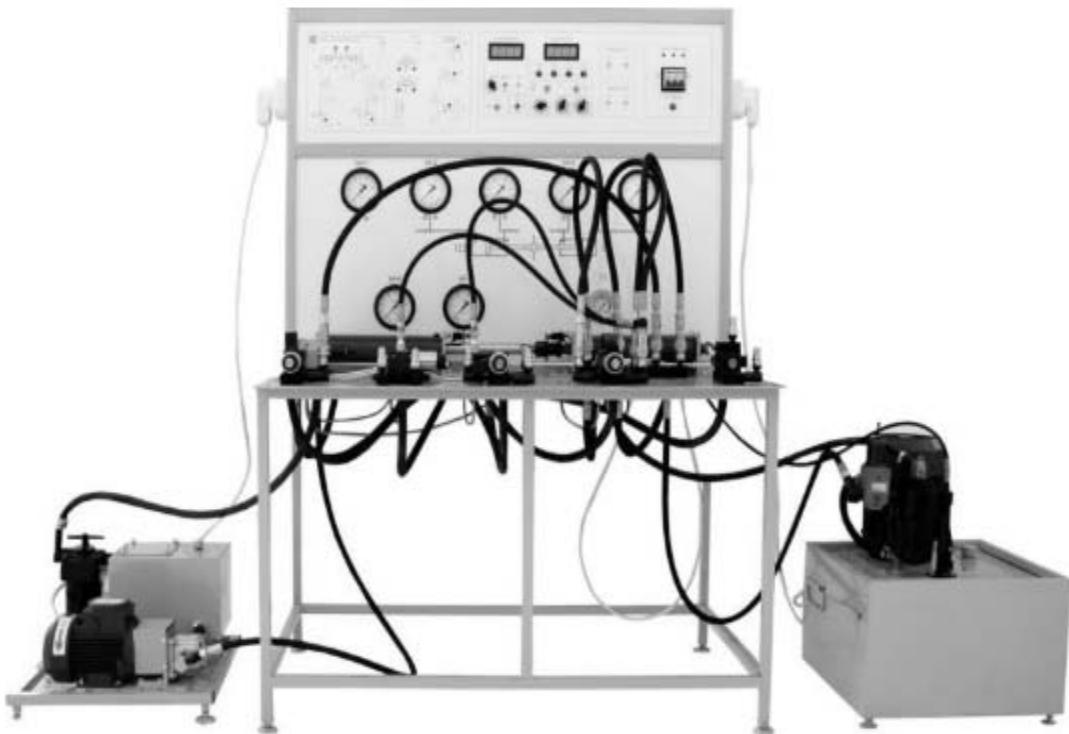


Рисунок 10.5 – Внешний вид стенда НТЦ-11.95

Содержание отчета

В отчете приводятся принципиальная гидравлическая схема распределителя, его краткое описание, принципиальная гидравлическая схема гидросистемы, таблица замеров, характеристика гидрораспределителя.

Контрольные вопросы

- 1 Чем такое условный проход?
- 2 Как уравновешиваются золотники распределителей в осевом и радиальном направлениях?
- 3 Охарактеризуйте распределители с различными схемами соединения каналов.
- 4 Как классифицируются распределители по конструктивному исполнению корпуса?
- 5 Для чего служит «плавающая» позиция золотника распределителя?

11 Лабораторная работа № 11. Изучение конструкций и регулировка предохранительных клапанов

Цель работы: изучение конструкций и регулировка предохранительных клапанов прямого и непрямого действия.

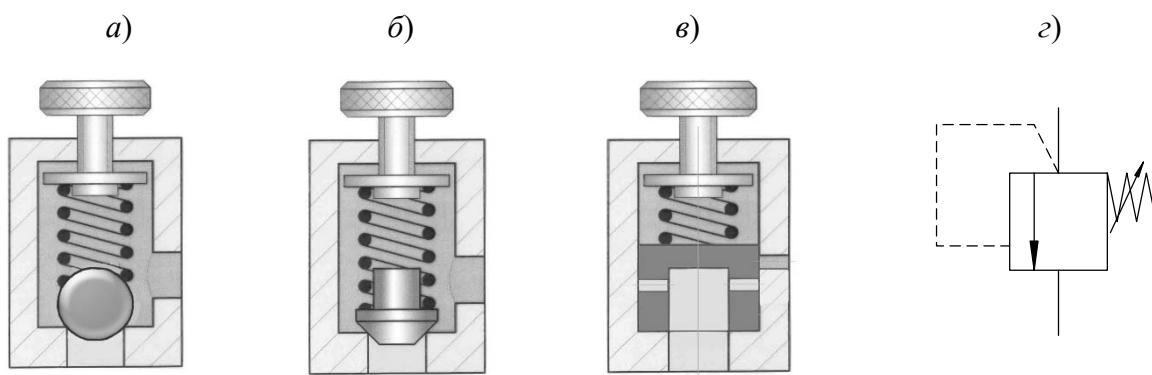
Общие сведения

Предохранительные гидроклапаны предназначены для защиты гидросистемы от чрезмерных давлений рабочей жидкости.

По месту установки предохранительные клапаны условно разделяют на первичные (разгружающие насос) и вторичные (предохраняющие гидродвигатели). Первичные клапаны обычно устанавливают в напорной гидролинии насоса или непосредственно в гидрораспределителе, вторичные – в гидролиниях между распределителем и гидродвигателем, обычно их присоединяют непосредственно к распределителю. Вторичные предохранительные клапаны ограничивают максимальное давление, возникающее в гидродвигателях от инерционных нагрузок или реактивных усилий при закрытых рабочих отводах распределителя.

По воздействию потока на запорно-регулирующий элемент различают клапаны прямого и непрямого действия.

Предохранительные клапаны прямого действия. У таких клапанов величина открытия рабочего проходного сечения изменяется в результате непосредственного воздействия потока рабочей жидкости на запорно-регулирующий элемент. Наиболее простые схемы этих клапанов представлены на рисунке 11.1.



а – с шариковым запорным элементом; б – с конусным запорным элементом; в – золотникового типа; г – условное обозначение на гидросхемах

Рисунок 11.1 – Предохранительные клапаны прямого действия

Предохранительные клапаны шарикового и конусного типов применяют в случаях эпизодического их действия, т. к. при постоянной работе быстро изнашивается седло клапана. Клапаны золотникового типа обычно используются в качестве переливных клапанов, для которых характерно непрерывное движение запорно-ре-

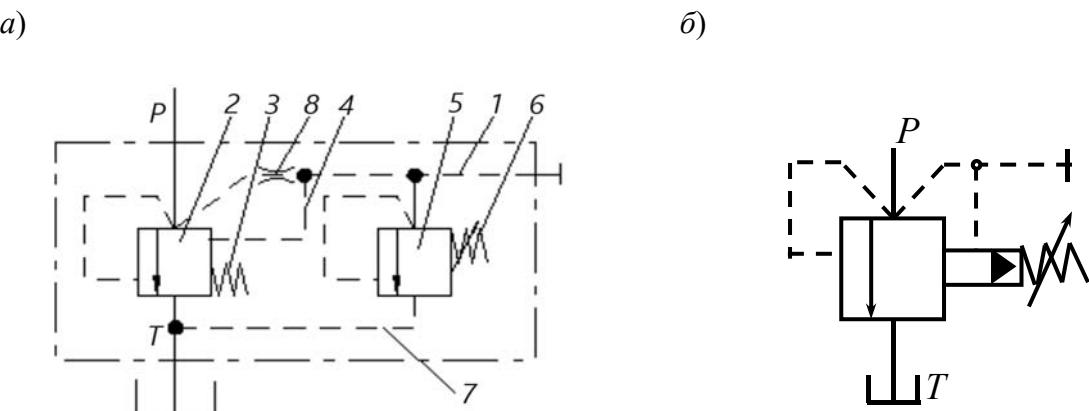
гулирующего элемента. Клапаны прямого действия являются быстродействующими, однако стабильность поддерживаемого ими давления при измерении расхода зависит от характеристики пружины и сил трения подвижных частей клапана. Такие клапаны применяют при сравнительно небольших расходах ($D_y < 25$ мм). При больших расходах и давлении свыше 25 МПа значительно увеличиваются габаритные размеры клапанов.

Клапаны прямого действия часто используются в качестве вторичных предохранительных клапанов. Для обеспечения нормальной работы гидродвигателей давление настройки вторичных клапанов должно превышать давление срабатывания первичного предохранительного клапана на 2...3 МПа.

Предохранительные клапаны непрямого действия. Такие клапаны, несмотря на более сложную конструкцию, находят все более широкое применение, особенно в связи с тенденцией повышения номинального давления. Достоинством этих клапанов является стабильность поддерживаемого давления при изменении расхода в широком диапазоне. Они менее подвержены вибрациям, имеют малый гистерезис, легко обеспечивают дистанционное управление разгрузкой насоса, хотя их быстродействие несколько ниже, чем у клапанов прямого действия.

Принцип действия таких клапанов заключается в следующем (рисунок 11.2). В исходном положении, при закрытой линии управления 1 клапан 2 под воздействием пружины 3 перекрывает напорный канал P . Пружина 3 рассчитана на небольшое давление, т. к. клапан 2 уравновешен давлением жидкости в напорном канале P с обеих сторон (справа – по линии управления 4). Клапан 5, удерживаемый пружиной 6, рассчитанной на большое давление, закрывает сливной канал 7. Линия управления 1 и клапан 5 служат для открытия основного клапана 2.

Открытие клапана 2 произойдет только тогда, когда жидкость будет протекать через дроссель 8. В этом случае на дросселе возникает перепад давления и клапан 2 уже не будет уравновешиваться давлением жидкости, в результате чего он откроется. При этом давление жидкости в напорном канале P перед дросселем 8 будет превышать давление в полости 4 после дросселя на незначительную величину, зависящую от сопротивления пружины 3.



a – полное; *b* – упрощенное

Рисунок 11.2 – Условное обозначение клапана непрямого действия

Таким образом, открыть клапан 2 можно двумя способами – при низком и высоком давлениях. Для открытия при низком давлении необходимо открыть линию управления 1. При высоком давлении клапан откроется после срабатывания клапана 5 (при закрытой линии управления 1). В обоих случаях жидкость протекает через дроссель 8, в результате чего на нем возникает перепад давления.

При срабатывании клапана 5 открывается сливной канал 7. Жидкость стремится пройти через дроссель 8, вследствие инерционного напора перед ним будет повышаться давление до тех пор, пока клапан 2 переместится вправо, сжимая пружину 3 и открывая проход рабочей жидкости из напорного P в сливной T канал при высоком давлении.

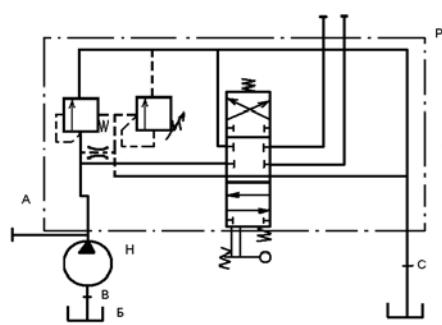


Рисунок 11.3 – Схема установки распределителя при регулировке предохранительного клапана

При снижении давления клапан 5 закроет сливной канал 7 и давление в полости 4 станет равным давлению в напорном канале P . Клапан 2 под воздействием пружины 3 закроет сливной канал T .

Линия управления 1 обычно проходит через канал распределителя, открытый при нейтральной позиции золотников (рисунок 11.3).

В результате возникающего на дросселе перепада давления откроется основной клапан (левый на рисунке 11.3) и поток жидкости от насоса будет поступать на слив, минуя золотники распределителя. Такой способ разгрузки насоса более эффективен, чем проточный, при котором жидкость проходит через нейтральную позицию золотников.

При перемещении золотника в рабочее положение линия управления, а следовательно, и предохранительный клапан закрываются. Жидкость будет поступать в гидродвигатель.

Порядок выполнения работы

Изучить конструкцию стенда НТЦ-11.95 «Автоматизированный гидропривод» в соответствии с рисунком 10.5 (см. лабораторную работу № 10).

Выявить гидравлические клапаны, которые могут исполнять функции предохранительных. Разработать принципиальную гидравлическую схему подключения выбранных клапанов. Собрать схему на стенде. Провести пробное включение стенда для определения работоспособности выбранного варианта. Провести предварительные замеры давления срабатывания клапана, выполняющего функцию предохранительного. Разработать таблицу регистрации измерений. Провести серию из пяти-шести экспериментов. Заполнить таблицу измерений. Построить график, характеризующий работу клапана.

Содержание отчета

В отчете приводятся условные обозначения клапанов, краткое описание их устройства и принципа действия, таблица замеров, графическая зависимость.

Контрольные вопросы

- 1 Достоинства и недостатки клапанов прямого действия.
- 2 Достоинства и недостатки клапанов непрямого действия.
- 3 Для чего предназначены вторичные предохранительные клапаны?
- 4 Принцип работы клапана непрямого действия.
- 5 Как настраивается клапан на требуемое давление?

12 Лабораторная работа № 12. Изучение аппаратов для управления расходом рабочей жидкости

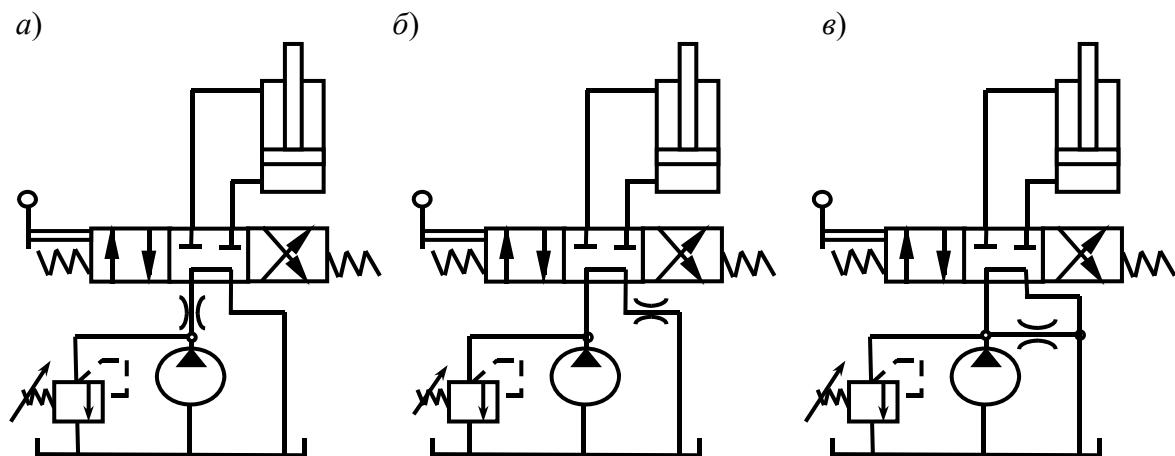
Цель работы: изучение аппаратов для управления расходом рабочей жидкости, схем их установки и приобретения навыков регулирования.

Общие сведения

Основными аппаратами для управления расходом рабочей жидкости являются дроссели и регуляторы расхода.

Дроссельное регулирование скорости гидродвигателей основано на том, что через дроссель проходит только часть потока, подаваемого насосом.

В гидросистемах дроссели могут устанавливаться в соответствии с рисунком 12.1 на входе в гидродвигатель, выходе из него и на ответвлении (параллельно гидродвигателю).



a – на входе; б – на выходе; в – параллельно гидроцилиндру (на ответвлении)

Рисунок 12.1 – Схемы дроссельного регулирования скорости гидроцилиндра

При установке дросселя на входе в гидродвигатель давление перед дросселем будет определяться давлением настройки предохранительного клапана, через который осуществляется слив части рабочей жидкости, а давление за дросселем – нагрузкой на гидродвигатель. Перепад давления на дросселе, а следовательно, и расход через дроссель будут зависеть от нагрузки и вследствие этого будут непостоянными. Это приводит к зависимости скорости выходного звена гидродвигателя от нагрузки.

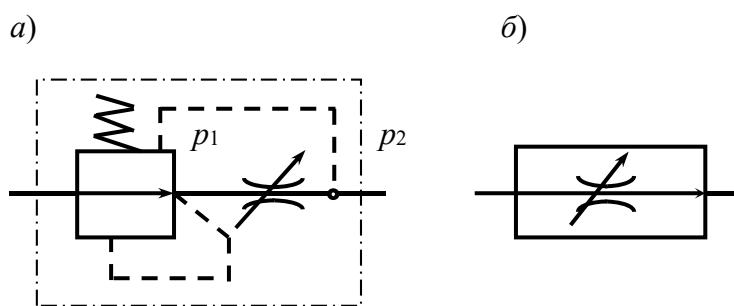
Так как через предохранительный клапан постоянно проходит часть потока жидкости, то насос непрерывно работает под максимальным давлением, независимо от нагрузки на выходном звене гидродвигателя, что приводит к значительным потерям мощности.

Дроссели на входе хорошо работают при нагрузках, направленных против направления движения выходного звена (встречные нагрузки).

При воздействии на выходное звено гидродвигателя знакопеременных нагрузок дроссель целесообразно устанавливать на выходе. Установка дросселя на выходе обеспечивает плавное движение рабочего органа, но так же, как и в предыдущем случае, не обеспечивает стабильной скорости выходного звена гидродвигателя при переменных нагрузках.

Установка дросселя на ответвлении (параллельно гидродвигателю) позволяет снизить потери мощности в гидроприводе по сравнению с двумя выше рассмотренными случаями. Насос будет развивать давление, зависящее от нагрузки на гидродвигатель. Однако и эта схема не обеспечивает постоянной скорости выходного звена гидродвигателя.

В тех случаях, когда требуется обеспечить постоянный расход жидкости для поддержания требуемой скорости движения выходного звена гидродвигателя независимо от нагрузки, в линии питания потребителя вместо дросселей устанавливают регуляторы расхода в соответствии с рисунком 12.2.



a – подробная; *б* – упрощенная

Рисунок 12.2 – Схемы двухлинейного регулятора расхода

Регулятор расхода состоит из дросселя, обычно регулируемого, и клапана, поддерживающего постоянным перепадом давления на дросселе $\Delta p = p_1 - p_2$. Поршень клапана находится под действием давления p_1 с одной стороны и давления p_2 и усилия пружины – с другой. Если, например, внешнее давление p_2 после дросселя увеличится, то поршень клапана сместится вниз, открывая проходное сечение, благодаря чему возрастет и поток жидкости, поступающей к дросселю.

За счет этого увеличится и давление p_1 перед дросселем, но при этом сохранится условие $\Delta p = p_1 - p_2 = \text{const}$. При уменьшении давления p_2 поршень клапана уменьшит сечение для прохода потока жидкости, поступающей к дросселю, что приведет и к снижению давления p_1 при $\Delta p = \text{const}$. Устойчивая работа двухлинейного регулятора расхода обеспечивается при выполнении условия $p_1 > p_2^{\max}$.

Двухлинейные регуляторы расхода могут использоваться для обеспечения совместной, независимой друг от друга работы нескольких гидродвигателей в соответствии с рисунком 12.3.

Включение каждого гидромотора и регулирование его частоты вращения обеспечивается соответствующим регулятором расхода. В этом случае подача насоса должна превышать максимальный суммарный расход гидромоторов, а предохранительный клапан настроен на давление, превышающее максимальное рабочее давление на наиболее нагруженном гидромоторе.

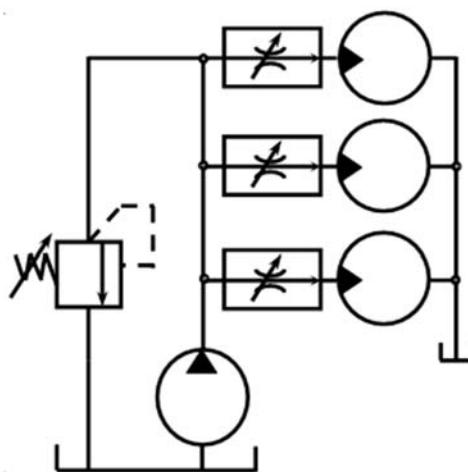


Рисунок 12.3 – Схема подключения регуляторов расхода для управления несколькими гидромоторами

Лишь при выполнении этого условия обеспечивается устойчивая работа приведенной на рисунке 12.3 гидросистемы. Существенным недостатком такой схемы является постоянное движение рабочей жидкости через предохранительный клапан на слив, т. к. в этом случае насос постоянно будет работать при максимальном давлении, даже при отсутствии нагрузки на гидромоторах.

Порядок выполнения работы

Изучаются схемы дроссельного регулирования скорости гидродвигателя, их преимущества и недостатки.

На стенде (можно использовать данные лабораторной работы № 5) проводятся опыты при разных значениях расхода. В каждом опыте необходимо регистрировать по манометрам МН4 и МН5 давления, а также время прохождения через расходомер заданного объема рабочей жидкости. Опыты провести при различных расходах (расход изменять с помощью регулятора расхода РР), для которых определяется площадь проходного сечения дросселя.

Содержание отчета

В отчете приводятся схемы дроссельного регулирования скорости гидродвигателя, а также результаты замеров и расчетов (таблица 12.1), делаются выводы о полученных результатах.

Таблица 12.1 – Результаты замеров и расчетов

Номер опыта	Расход, $\text{дм}^3/\text{с}$	Перепад давления на дросселе, МПа	Площадь отверстия дросселя, мм^2

Контрольные вопросы

- 1 В каких случаях дроссель устанавливается на выходе из гидроцилиндра и параллельно ему?
- 2 Как изменится скорость движения штока гидроцилиндра при уменьшении проходного сечения дросселя, установленного на ответвлении?
- 3 Как изменится скорость движения штока гидроцилиндра при уменьшении проходного сечения дросселя, установленного на выходе из гидроцилиндра?
- 4 Назовите достоинства и недостатки дроссельного регулирования скорости движения гидродвигателей.
- 5 Поясните устройство регулятора расхода.

13 Лабораторная работа № 13. Изучение конструкций трубопроводов, их соединений и арматуры

Цель работы: ознакомиться с типами и материалами труб и фасонных соединительных частей к ним для прокладки технологических трубопроводов.

Общие сведения

Под системой трубопроводов понимают совокупность отдельных трубопроводов, взаимосвязанных в едином технологическом процессе. Существуют магистральные трубопроводы – крупнейшие инженерные сети для перекачки веществ на дальние расстояния от места добычи до газгольдера заказчика, разветвляющиеся на более мелкие участки, а также технологические, например, установки для крекинга нефти, разделения воздуха в химической промышленности, которые целиком состоят из трубопроводов различных диаметров.

По сложности проектирования выделяют простые и сложные трубопроводы. Простые – уложенные по прямой без дополнительных конструкций, сложные – крупные наземные инженерные системы с насосными станциями подачки, переходами и изгибами или подводные.

По температуре передаваемого вещества трубопроводы подразделяют на холодные (температура ниже 0 °C), среднетемпературные (+1 °C...+45 °C), горячие (свыше 45 °C).

По создаваемому давлению трубопроводы бывают низкого (ниже 1,2 МПа), среднего (1,225 МПа) и высокого (более 2,5 МПа) давления [1]. Кроме воздействия внешней среды, трубопровод испытывает воздействие агрессивной среды транспортируемого вещества.

Трубопровод – инженерное сооружение, состоящее из установок создания давления, труб различных диаметров, изготовленных из металлов или высокопрочного пластика, которые соединяются между собой либо сварным швом, либо с помощью фланцев с прокладками. Трубы разного диаметра соединяются с помощью сгонов, переходников, муфт. Для регулирования потока в трубопровод врезают элементы запорной арматуры: задвижки, вентили, краны. Поскольку трубопровод – это объект, работающий под давлением, необходимо постоянно контролировать давление внутри трубы. С этой целью монтируют механические манометры. В случаях, когда требуется не только контролировать давление, но и управлять им в системе в автоматическом режиме, устанавливают электромеханические манометры или электронные датчики давления. На трубопроводах высокого давления или предназначенных для перекачки взрывоопасных веществ устанавливают предохранительные устройства.

Внешняя среда и агрессивная внутренняя среда создают идеальные условия для возникновения коррозии металла, которая постепенно разрушает металл и в конечном итоге приводит к разрыву трубопровода. Для борьбы с коррозией поверхности труб снаружи и внутри покрывают защитными составами. Для предотвращения аварии проводят мониторинг состояния труб с помощью дефектоскопа. В настоящее время отрабатываются системы автоматического контроля состояния поверхности стенок труб с использованием технологий беспроводной сенсорной связи.

Технологические трубопроводы работают в разнообразных условиях, находятся под действием значительных давлений и высоких температур, подвергаются коррозии и претерпевают периодические охлаждения и нагревы. Их конструкция становится все более сложной за счет возрастания рабочих параметров транспортируемого продукта, увеличения диаметров трубопроводов, ужесточения требований к надежности эксплуатируемых систем.

По виду транспортируемых сред трубопроводы подразделяют на несколько видов, основные из которых представлены на рисунке 13.1; описание трубопроводов приведено в таблице 13.1.

Таким образом, название трубопроводной системы напрямую зависит от перемещаемой по нему среды. К трубопроводам, предназначенным для транспортировки огне- и взрывоопасных, а также токсичных или радиоактивных сред, предъявляются высокие требования по безопасности, непроницаемости и долговечности материалов корпусных деталей и герметичности по отношению к внешней среде.

По расположению относительно зданий и сооружений выделяют наружные и внутренние трубопроводы. В зависимости от длины, диаметра и количества передаваемой энергии трубопроводы классифицируют следующим образом:

- магистральные (от источника энергии до микрорайона или предприятия);
- распределительные (от магистральных до трубопроводов, идущих к отдельным зданиям);
- ответвления (от распределительных трубопроводов до узлов присоединения местных потребителей тепла).

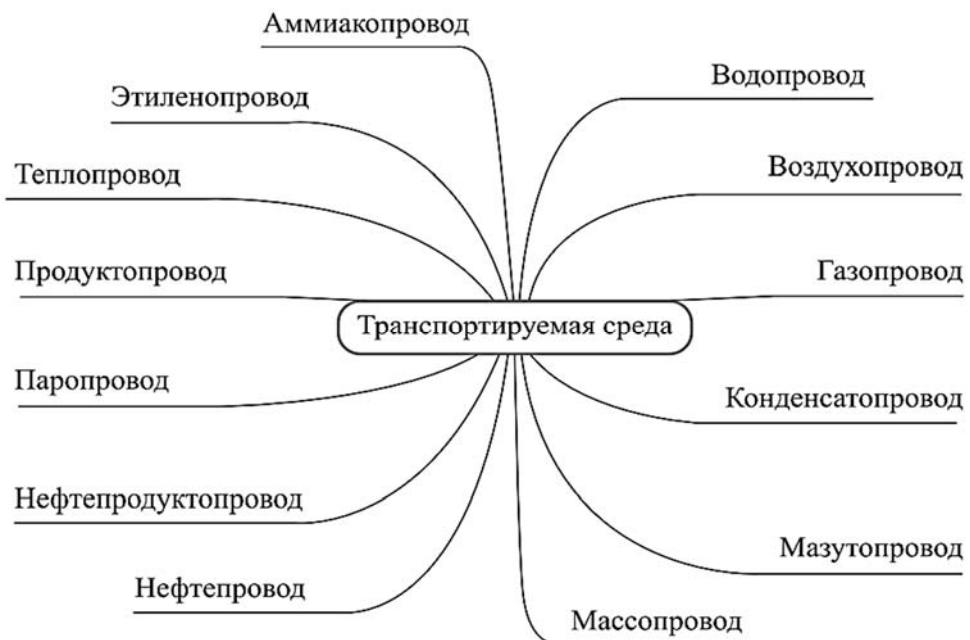


Рисунок 13.1 – Классификация трубопроводов по видам транспортируемых сред

Таблица 13.1 – Описание трубопроводов, классифицируемых по видам транспортируемых сред

Наименование трубопровода	Описание
1	2
Аммиакопровод	Предназначен для транспортировки аммиака. В России и Украине функционирует экспортный магистральный аммиакопровод
Водопровод	Предназначен для обеспечения водой населения, промышленных предприятий, транспорта. В зависимости от видов потребления бытовых и промышленных нужд трубопроводы водоснабжения различают по органолептическим свойствам и пригодности для питья: хозяйствственно-питьевые, производственные, противопожарные, поливные
Воздухопровод	Часто создается на промышленном предприятии для обеспечения производства сжатым воздухом
Газопровод	Предназначен для транспортировки попутного нефтяного, природного и искусственного газа. Стrатегические газопроводы предназначены для передачи на дальние расстояния больших объемов газа – на экспорт к предприятиям, осуществляющим газовый синтез
Конденсатопровод	Технологический трубопровод, предназначенный для сбора конденсата

Окончание таблицы 13.1

1	2
Мазутопровод	Осуществляет транспортировку тяжелых нефтепродуктов, отходов крекинга. Такие продукты могут использоваться в качестве топочного мазута, перерабатываться в дизельное топливо или использоваться для дальнейшего отделения легких углеводородов
Массопровод	Предназначен для транспортировки гидроторфа на торфоразработках, различных сыпучих материалов на складах и промышленных предприятиях, удаления золы на теплоэлектростанциях и т. п.
Нефтепровод	Предназначен для транспортировки сырой нефти. Нефть подогревается, что препятствует затвердеванию входящих в ее состав парафинов
Нефтепродуктопровод	Предназначен для транспортировки нефтепродуктов, в том числе бензина и керосина, полученных в результате крекинга. Доставка осуществляется до предприятий, производящих нефтепродукты более высокой переработки. Такие трубопроводы чаще всего применяются в пределах одного предприятия. Для транспортировки нефтепродуктов на большие расстояния используются специальные автомобильные или железнодорожные цистерны
Паропровод	Технологический трубопровод, предназначенный для передачи под давлением пара, используемого для отопления помещений или работы сторонних механизмов
Продуктопровод	В общем смысле трубопровод, предназначенный для транспортировки искусственно синтезированных веществ, чаще всего – продуктов нефтяного синтеза. В частном случае может означать систему, предназначенную для доставки по трубам любых продуктов
Теплопровод	Предназначен для передачи теплоносителя (вода, водяной пар) от источника тепловой энергии в жилые дома, общественные здания и на промышленные предприятия
Этиленопровод	Инфраструктура, предназначенная для транспортировки по трубам специфического синтезированного промышленного сырья – этилена

Трубопроводы могут быть проложены на земле, в земле и над землей. При любом способе монтажа трубопроводов необходимо обеспечить наибольшую надежность работы системы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах.

В настоящее время основными видами прокладки трубопроводов являются подземная и надземная. Подземная прокладка трубопроводов наиболее распространена. Выделяют прокладку трубопроводов непосредственно в земле (бесканальная) и в каналах. При наземной прокладке трубопроводы должны находиться на земле или над землей на таком уровне, чтобы не препятствовать движению транспорта. Надземную прокладку применяют на загородных магистралях при пересечении оврагов, рек, железнодорожных путей и других сооружений.

Классификация трубопроводных систем по видам прокладки приведена на рисунке 13.2, описание трубопроводов – в таблице 13.2.

Если исходить из удобства монтажа и обслуживания, то прокладка труб над землей является более выгодной, чем прокладка под землей. Также это требует

меньших материальных затрат. Однако это портит внешний вид окружающей среды и поэтому такой вид прокладки труб не везде может применяться.

Важно помнить о правилах установки при монтаже открытых и закрытых технических коммуникаций. Их несоблюдение может привести к раннему выходу из строя трубопровода, возникновению протечек, крупных засоров и прочих проблем. Также нельзя забывать о требованиях безопасности.

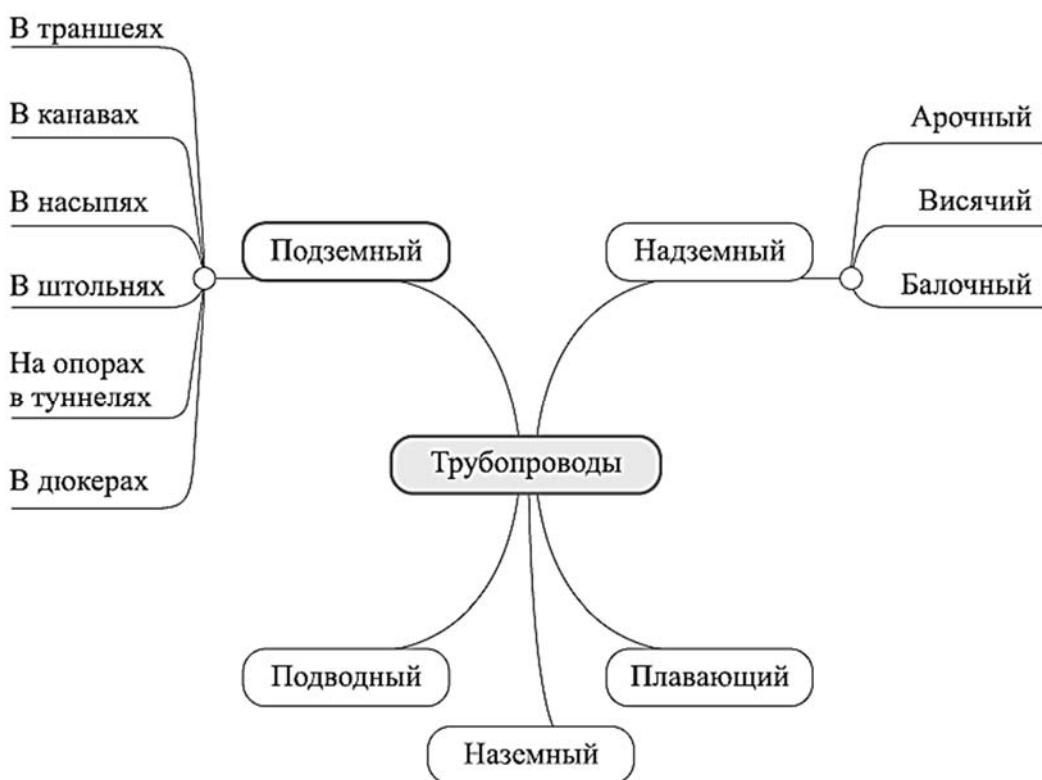


Рисунок 13.2 – Классификация трубопроводных систем по видам прокладки

Таблица 13.2 – Описание трубопроводов в зависимости от вида прокладки

Наименование трубопровода	Описание
1	2
Подземный	Прокладывается траншейным способом с последующей засыпкой грунтом; предназначен для транспортировки газа, нефти, нефтепродуктов, угля, железной руды и т. д. от мест добычи, переработки и хранения к местам потребления. Подземная прокладка обеспечивает защиту трубопровода от механических повреждений и более благоприятный температурный режим его эксплуатации
Наземный	Участок трубопровода, расположенный на поверхности земли; трубы могут быть полностью закрыты грунтовой засыпкой или заключены в короб
Плавающий	Состоит из секций, каждая из которых представляет собой резинотканевую трубу с закрепленными на ней поплавками. Плавающие трубопроводы произведены с использованием современных полимерных материалов, что обеспечивает возможность их эксплуатации в условиях отрицательных температур и сохранность при вмерзании в лед

Окончание таблицы 13.2

1	2
Надземный	Комплекс сооружений для транспортировки газообразных, жидких или твердых продуктов, прокладываемый на отдельных опорах или эстакадах на расстоянии от грунта не менее 25 см. Надземные трубопроводы сооружают на участках с любым рельефом местности. Наиболее целесообразно их применение на трассах, пересекающих территории с изрезанным рельефом, большим числом рек, озер, водотоков и т. п., в районах оползней, горных выработок, на просадочных, мерзлых грунтах и в других сложных условиях
Подводный	Магистраль из труб для транспортировки жидких и газообразных веществ под действием разности давлений в различных ее сечениях. Подводные трубопроводы прокладывают непосредственно по морскому дну или укладывают в подготовленную траншею. Они соединяют морские нефтепромыслы с хранилищами нефти и газа, с точечными причалами для танкеров и газовозов или с береговыми либо плавучими перерабатывающими установками

Трубопроводные системы включают непосредственно трубы и трубопроводную арматуру. К основным параметрам собственно труб относятся (рисунок 13.3):

- диаметр трубы наружный D , мм;
- толщина стенки трубы b , мм;
- диаметр трубы внутренний d , мм;
- площадь поперечного сечения трубы S , мм^2 ;
- длина трубы L , мм;
- объем материала трубы V , м^3 ;
- плотность материала трубы ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$;
- масса трубы m , кг.

Для расчета массы трубы необходимо знать ее плотность ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$, и объем материала трубы V , м^3 :

$$m = \rho \cdot V . \quad (13.1)$$

Для нахождения объема необходимо знать площадь поперечного сечения трубы S , мм^2 , и длину трубы L , мм:

$$V = S \cdot L . \quad (13.2)$$

Расчет силы и давления пневмо- или гидросистемы позволяет узнать силу, развивающую системой:

$$F = P \cdot S , \quad (13.3)$$

где P – разность рабочих давлений ($P = P_1 - P_2$), Па;

S – площадь поперечного сечения трубы, мм^2 .

Трубопроводная арматура – конструктивный элемент трубопроводной системы, который позволяет формировать сечение проводящего просвета трубопровода для организации движения (регулирование, отключение, смешивание,

сброс, распределение) одного или нескольких потоков передаваемых сред согласно техническим требованиям (давление, температура, мощность, направление и физико-химическое состояние рабочей среды).

Классификация трубопроводной арматуры приведена на рисунок 13.4, ее описание в соответствии с классификацией – в таблице 13.3, примеры элементов трубопроводной арматуры – в таблице 13.4.

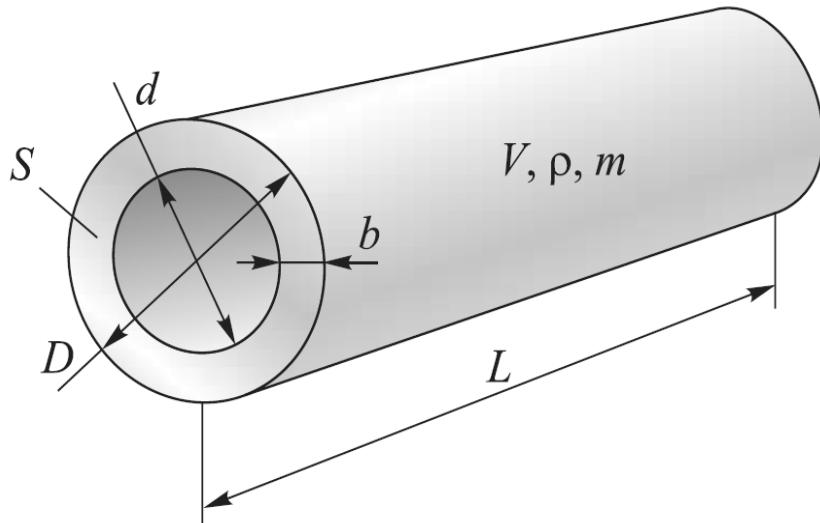


Рисунок 13.3 – Основные параметры труб

Таблица 13.3 – Описание трубопроводной арматуры в соответствии с классификацией

Наименование арматуры	Описание
1	2
<i>По выполняемым функциям</i>	
Запорная	Герметично перекрывает движение вещества в магистрали в момент закрытия, обеспечивает проходимость без сопротивления при открытии механизма (кран, вентиль, заслонка, задвижка). Необходимость в этом процессе возникает периодически по техническим требованиям. К запорным элементам относится устройство для спуска рабочей среды из емкости или подачи в контрольно-измерительные приборы
Регулирующая	Позволяет изменять параметры транспортируемого вещества: температуру, давление, напор, уровень, расход (вентиль, самодействующий клапан, конденсатоотводчик, регулятор уровня). Редукционная или дроссельная арматура трубопроводов позволяет регулировать давление посредством гидравлического сопротивления
Предохранительная	Автоматически срабатывает на открывание клапана при давлении, превышающем норму, в результате чего происходит сброс избытка проводимой массы (предохранительный клапан, мембранный предохранитель, перепускной клапан)
Защитная	Отключает оборудование, участок трубопровода при аварийном изменении показателей проводимого вещества или блокирует обратный ток рабочей среды, защищая трубопровод и оборудование от аварийных ситуаций (обратный клапан, пневмозадвижки, отсечный клапан)

Продолжение таблицы 13.3

1	2
Фазораздели- тельная	Разделяет проводимую среду, находящуюся в разных фазах состояния, позволяя удалять конденсат, выполнять масло-, газо-, воздухоотделение
Распредели- тельно-смеси- тельная	Распределяет поток вещества в заданных направлениях либо смешивает потоки в единый (распределительный кран (клапан), смеситель, трехходовая арматура)
Контрольная	Определяет уровень, движение проводимой массы (датчик уровня, пробко-спускные краны)
<i>По способу соединения с трубопроводом</i>	
Муфтовая	Соединение муфтой с резьбой внутри возможно при диаметрах труб не более 80 мм и рабочем давлении 1,0 МПа; пригодно для металлопластиковых, полиэтиленовых, полипропиленовых трубопроводов
Фланцевая	Прочное соединение с болтовой стяжкой; фланцеваястыковка может многократно разбираться и собираться для ремонта, прочистки арматуры. Необходим периодический контроль креплений, т. к. они могут ослабевать
Под приварку	Деталистыкуются сварочным швом в раструб или встык; соединение считается самым надежным и герметичным, применяется для проводимости опасных веществ; возможно использование подкладного кольца, чтобы исключить перекосстыковки деталей; такой способ используют при прокладке трубопроводов для атомных электрических станций
Цапковая	Соединение элементов небольшого размера, работающих под высоким давлением (контрольно-измерительные приборы и аппаратура), посредством присоединительных патрубков с наружной резьбой и буртиком
Штуцерная	Используется для арматуры диаметром не более 15 мм в лабораторных трубопроводах; соединение резьбовое
<i>По способу герметизации</i>	
Сальниковая	Достигается уплотнением контакта штока и шпинделя сальниковой набивкой (шнуры из асBESTовых или пеньковых волокон, пропитанные герметизирующим составом, фторопластовая набивка)
Мембранныя	Уплотнение за счет мембраны (упругий эластичный диск), которая зажимается между крышкой и корпусом арматуры
Шланговая	В конструкцию арматуры включен эластичный шланг, который пережимается, герметично отсекая поток
Сильфонная	Подвижные элементы уплотнены сильфонным узлом (гофрированная трубка)
<i>По способу управления</i>	
Управляемая	Приводится в действие посредством манипуляции вручную или с помощью механического (пневматического, гидравлического, электрического, электромагнитного) привода. Дистанционное управление может осуществляться отдельно установленным от трубопроводной арматуры приводом, соединяемым подшипниками, валами, тросом, зубчатыми колесами. Большая часть изделий, рассчитанная на трубы диаметром не более 400 мм, управляетяется ручным приводом, процесс медленный, требуется приложение значительных усилий
Автоматическая	Действует автономно под влиянием рабочей среды или с помощью устройств автоматического срабатывания



Рисунок 13.4 – Классификация трубопроводной арматуры

Таблица 13.4 – Примеры элементов трубопроводной арматуры

Наименование арматуры	Внешний вид	Наименование арматуры	Внешний вид
<i>По выполняемым функциям – запорная</i>			
Задвижка		Кран	
Запорный кран		Дисковый затвор	
<i>По способу соединения с трубопроводом</i>			
Дисковый затвор		Под приварку	
Фланцевая		Цапковая	
Штуцерная			

Окончание таблицы 13.4

Наименование арматуры	Внешний вид	Наименование арматуры	Внешний вид
<i>По способу герметизации</i>			
Сальниковая		Мембранные	
Сильфонная		Шланговая	

Основными параметрами трубопроводной арматуры являются условный диаметр и условное давление рабочей среды (таблица 13.5). Стандартизация условных диаметров и давлений, определяющих число типоразмеров арматуры, позволяет осуществлять ее серийное производство и выполнять замену отдельных видов арматуры.

Таблица 13.5 – Основные параметры трубопроводной арматуры

Параметр	Описание	Обозначение
Условный (внутренний, номинальный) диаметр	Соответствует диаметру просвета трубопровода и обеспечивает сохранение или возрастание пропускной способности между его отдельными элементами	d_N , мм
Условное давление	Расчетное рабочее давление среды (температура 20 °C), при котором гарантируются заявленные эксплуатационные характеристики	p , Па
Рабочее давление	Максимальное избыточное давление, которое выдерживает оборудование при сохранении всех эксплуатационных характеристик	P , Па
Рабочая среда (газообразная, жидккая, сыпучая)	Характеризует транспортируемые по трубопроводу вещества	–
Температура эксплуатаций	Максимальные и минимальные значения температуры, при которых гарантируется надежное выполнение запорных функций	°C

Трубопроводную арматуру различают по рабочей температуре (таблица 13.6).

Таблица 13.6 – Температурные параметры трубопроводной арматуры

Название арматуры	Рабочая температура
Криогенная	–150 °С и ниже
Холодильного оборудования	–60 °С... –150 °С
Низкой температуры	–20 °С ...+60 °С
Средней температуры	До 400 °С
Высокой температуры	До 600 °С
Жаростойкая	600 °С и выше

При изготовлении труб в течение долгого времени традиционно использовались чугуны и стали различных марок (рисунок 13.5). В настоящее время все более широкое применение находят изделия из пластика. Такой выбор оправдан, поскольку пластиковые трубы имеют ряд преимуществ перед металлическими аналогами. Пластиковые трубы изготовлены из материала, который не подвержен губительному действию внешних факторов и образованию коррозии. Это означает, что пластиковые трубы прослужат намного дольше металлических. Несмотря на то, что пластиковые трубы соединяют с помощью сварки, их гораздо проще монтировать, чем металлические, поскольку пластик гораздо более мягкий и податливый материал, нежели металл, – работать с такими трубами проще.



Рисунок 13.5 – Классификация труб по материалам

Стальные трубы для газоснабжения отлично переносят внутреннее давление. Стальной трубопровод полностью герметичен, что сводит риск утечки газа к нулю. Подбор труб осуществляется с учетом рабочего давления в газовой магистрали.

Условия в трубопроводах могут быть следующими:

- трубопроводы низкого давления – до 5 кПа (до 0,05 кгс/см²);
- среднего давления – 5...300 кПа (0,05...3,0 кгс/см²);
- высокого давления – 360 кПа (3,6 кгс/см²).

Трубопроводы-отводы могут различаться не только тем, какие материалы были использованы при строительстве основного трубопровода, сроком службы, но и тем, какое давление газа подается по этим трубам.

Исходя из этого, выделяют несколько категорий трубопроводов:

- трубопроводы высокого давления, давление газа в трубах будет колебаться порядка 0,3...1,2 МПа;
- трубопроводы среднего давления, давление будет колебаться в пределах 0,3...0,6 МПа;
- трубопроводы среднего давления – 0,005...0,3 МПа;
- трубопроводы низкого давления – не более 0,005 МПа.

Однозначного ответа на вопрос, из какого именно материала должны изготавляться трубопроводы-отводы, нет, поскольку при выборе материала должны учитываться многочисленные факторы.

Основные виды стальных труб приведены на рисунке 13.6.

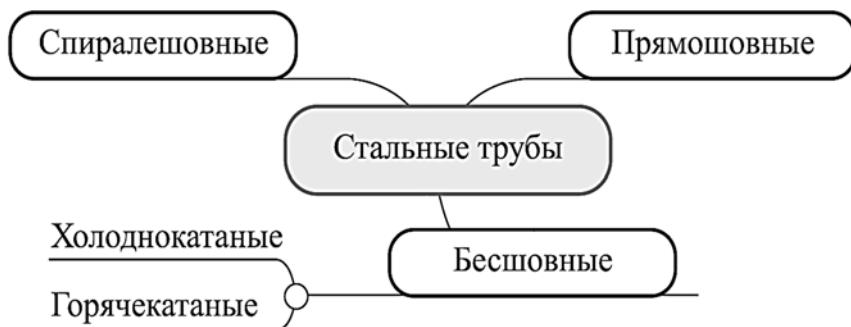


Рисунок 13.6 – Классификация стальных труб по виду швов

Бесшовные трубы производят путем «прошивки» металлического цилиндра (заготовки). Способ изготовления трудоемок, что сказывается на себестоимости получаемых изделий. Бесшовные трубы подразделяют на следующие подвиды:

- *холоднокатаные* (заготовка после процесса обрабатывается без воздействия температуры);
- *горячекатаные* (заготовка проходит дальнейшую обработку под действием высокой температуры).

Горячекатаные трубы в силу большой толщины стенки отличаются прочностью. Они используются преимущественно в холодном климате или для трубопроводов, по которым проходит газ под высоким давлением.

Прямошовные (линия сварного шва проходит вдоль трубы) трубы отличаются невысокой стоимостью и приемлемыми техническими параметрами. Основной недостаток – небольшой запас прочности, т. к. под действием давления шов может «лопнуть» или деформироваться.

Спиралешовные (линия шва в виде спирали проходит по всей поверхности трубы) трубы являются более прочными, чем прямошовные, и практически не отличаются от них по стоимости.

При выборе параметров труб следует учитывать:

- диаметр труб для газа;
- толщину трубной стенки.

Выбор диаметра труб проводится после проведения предварительных расчетов, при этом учитываются:

- расход газа в час;
- длина трубопровода;
- тип трубопровода (низкого, среднего или высокого давления).

Для строительства распределительных трубопроводных систем обычно используются трубы диаметром от 50 мм. Разводка внутри жилого помещения, как правило, выполняется трубами диаметром 25 мм.

Толщина трубной стенки имеет существенное значение при строительстве трубопроводов, т. к. именно от нее зависит прочность трубы. Производителями выпускаются трубы со стенками толщиной 1,8...5,5 мм (ГОСТ 3262-75 *Трубы стальные водогазопроводные*).

Толщину стенки рекомендуется выбирать в зависимости от места прокладки газового трубопровода:

- если газоснабжение проводится под землей (подземные коммуникации), то толщина стенки должна быть не менее 3 мм;
- если сооружается надземный трубопровод, то применяются менее прочные трубы с толщиной стенки 2 мм.

Определить качественные характеристики труб можно на основании маркировки, которая наносится на поверхность и имеется в технической документации к выпущенной партии (рисунки 13.7 и 13.8).



Рисунок 13.7 – Условные обозначения основных характеристик трубы

В маркировке указываются (ГОСТ 14202-69 *Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки*):

- наименование предприятия-изготовителя;
- марка стали, из которой изготовлена продукция;
- наружный диаметр и толщина трубной стенки;
- номинальное давление, которое труба может выдерживать без каких-либо проблем и в различных климатических условиях;
- ГОСТ или иные технические условия, в соответствии с которыми изготовлена данная труба.

Дополнительно могут указываться:

- дата изготовления;
- номер партии при поставке;
- номер заказа, по которому производились трубы;
- общая масса трубы;
- общая масса всей партии.

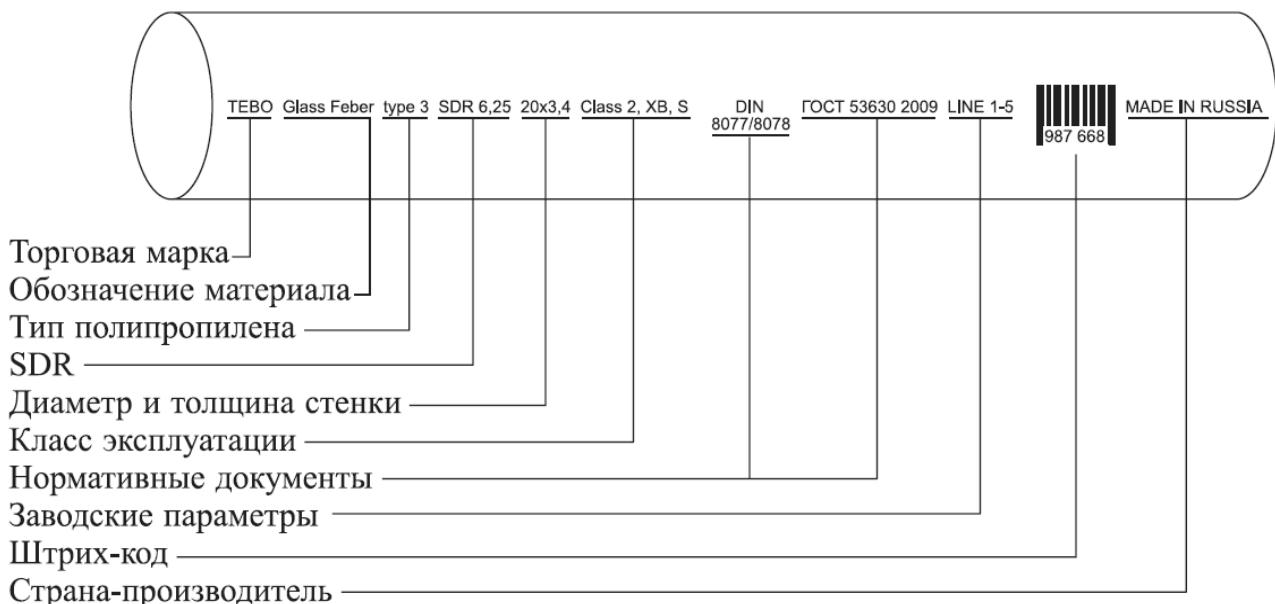


Рисунок 13.8 – Расшифровка маркировки

Порядок проведения работы

- 1 Составить эскизы трех выбранных образцов фасонных частей труб.
- 2 Для каждого образца выполнить замеры внутреннего и наружного диаметра, толщины стенки и другие измерения, в зависимости от вида образца.
- 3 Записать точную маркировку по ГОСТу изученных образцов с указанием всех типовых размеров.

Содержание отчета

Отчет должен содержать: краткое описание целей и задач, эскизы фасонных частей труб, результаты замеров, маркировку по ГОСТу фасонных частей труб, краткие выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как классифицируются трубопроводы? Дайте их краткую характеристику.
- 2 Из каких основных элементов состоит трубопровод?
- 3 Какие существуют способы соединения труб между собой?
- 4 Для чего служит запорная арматура? Приведите примеры ее элементов.

5 Какие устройства используются для контроля давления в трубопроводе и чем они отличаются?

6 Каким трубопроводам предъявляются повышенные требования безопасности и почему?

7 Какие виды прокладки трубопроводов существуют?

8 Что такое трубопроводная арматура и какую функцию она выполняет?

9 По каким признакам классифицируется трубопроводная арматура?

10 Какие существуют способы соединения арматуры с трубопроводом? Опишите их особенности.

11 Какие материалы традиционно используются для изготовления труб и какие получают все большее распространение?

12 На какие виды делятся стальные трубы по виду шва? Какой вид является наиболее прочным и почему?

13 Какие факторы необходимо учитывать при выборе диаметра и толщины стенки трубы для газопровода?

14 Какая информация должна содержаться в маркировке трубы согласно ГОСТ?

14 Лабораторная работа № 14. Изучение работы водоструйной водоподъемной установки

Цель работы: исследовать эффект увеличения высоты всасывания при последовательной работе струйного аппарата и центробежного насоса; сделать выводы по работе.

Общие сведения

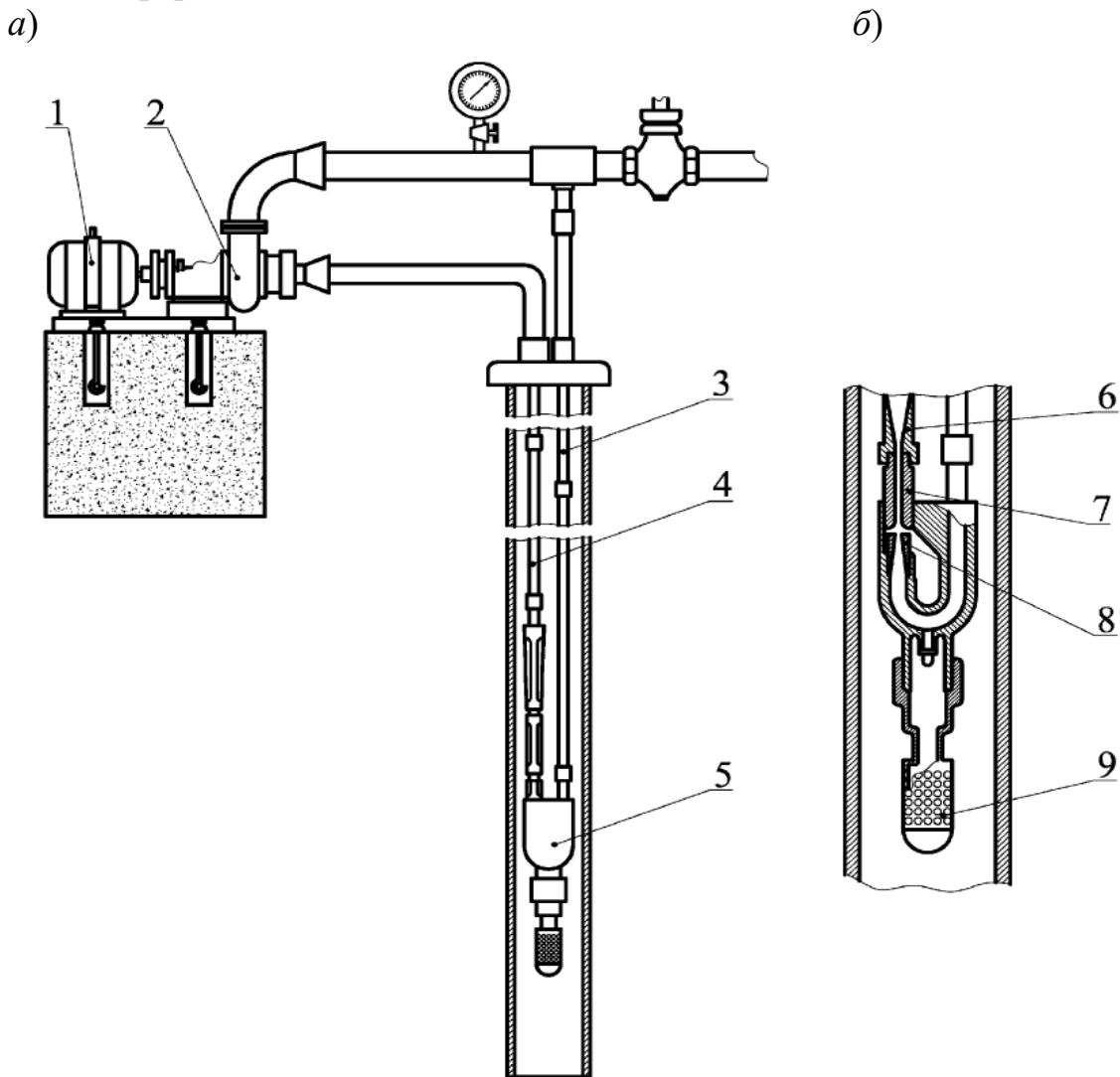
Водоструйные водоподъемные установки применяют для откачки воды из глубоких колодцев, котлованов, траншей. В сельском хозяйстве используются для подъема воды из шахтных и трубчатых колодцев с диаметром обсадной трубы 50...200 мм.

Водоструйная установка состоит из струйного аппарата (эжектора), опущенного под динамический уровень воды, напорного и водоподъемного трубопроводов, центробежного насоса с приводом от электродвигателя, расположенных на поверхности скважины (рисунок 14.1).

Совместная работа центробежного насоса со струйным аппаратом позволяет поднимать воду с глубины до 50 м, в то время как высота всасывания насоса не превышает 6...7 м. Это обусловлено способностью струйного аппарата обеспечивать необходимое давление жидкости перед входом ее в насос, исключающее возникновение кавитации.

Принцип действия водоструйной установки заключается в следующем: подаваемая центробежным насосом по напорному трубопроводу вода, проходя с

большой скоростью через сопло струйного аппарата, создает разрежение, в результате чего происходит всасывание воды из водоисточника через фильтр в камеру смешения. В диффузоре скорость воды понижается благодаря расширению потока, а давление соответственно увеличивается, и вода по водоподъемной трубе поднимается на высоту, с которой центробежный насос может забирать ее, не работая в кавитационном режиме. Пройдя через насос и получив соответствующий напор, часть воды снова попадает по напорному трубопроводу к струйному аппарату, а часть идет к потребителю. Таким образом, процесс подъема воды идет непрерывно.

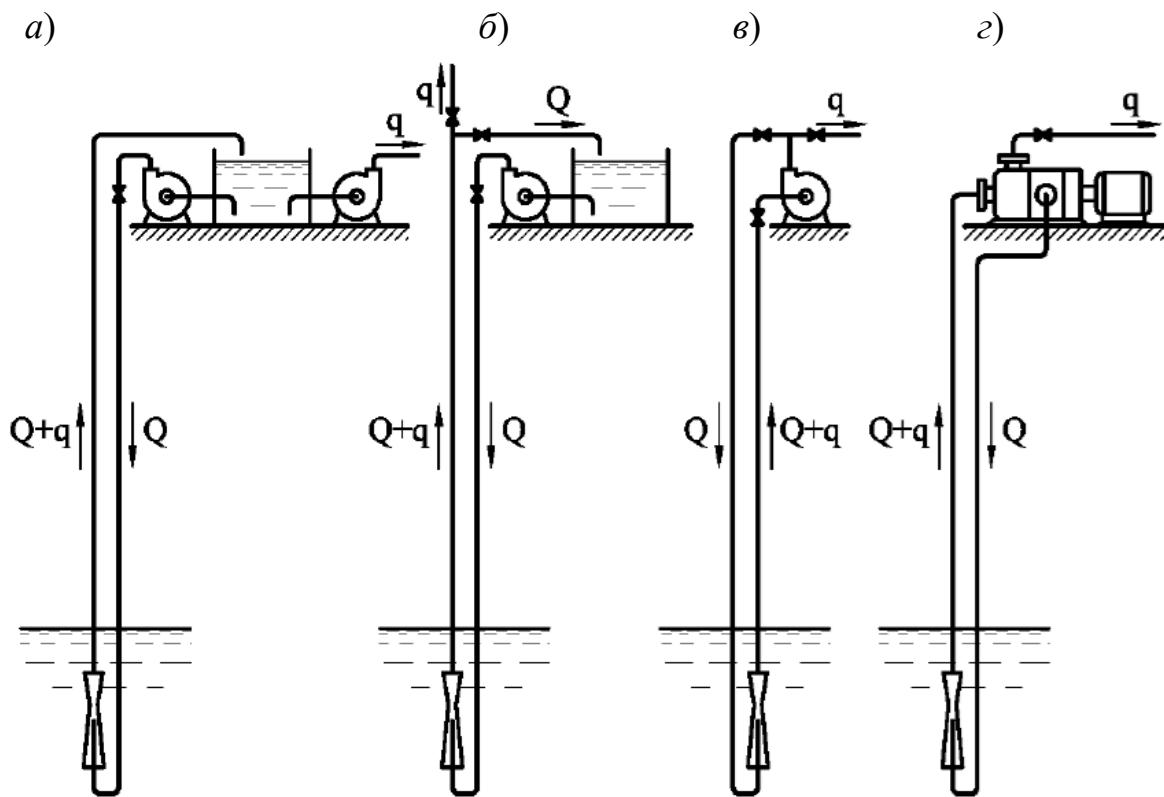


a – водоструйная установка; *б* – струйный аппарат; 1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – напорный трубопровод; 4 – водоподъемный трубопровод; 5 – эжектор (струйный аппарат); 6 – диффузор; 7 – камера смешения; 8 – сопло; 9 – фильтр

Рисунок 14.1 – Схема водоструйной водоподъемной установки

Существует несколько схем водоструйных установок: с промежуточным баком и двумя насосами; с промежуточным баком и одним насосом; с одним насосом без бака; со специальным двухпоточным насосом (рисунок 14.2).

Водоструйные водоподъемники позволяют поднимать воду с глубины до 40...50 м. Для подъема с большей глубины в конструкции водоподъемника применяется двухпоточный центробежный насос с промежуточным отбором жидкости.



a – с промежуточным баком и двумя насосами; *б* – с промежуточным баком и одним насосом; *в* – с одним насосом без бака; *г* – со специальным двухпоточным насосом

Рисунок 14.2 – Схемы водоструйных установок

Существенный недостаток водоструйной водоподъемной установки – низкий КПД в пределах 20 %...30 %.

В зависимости от конструкции струйного аппарата и взаимного расположения напорного и водоподъемного трубопроводов водоструйные установки разделяются на три типа.

1 Двухлинейные с параллельным расположением трубопроводов. Эти установки просты в монтаже и применяются главным образом для подъема воды из шахтных колодцев. Недостаток – неполное использование сечения колодца.

2 Двухлинейные с центральным (концентрическим) расположением труб, когда водоподъемный трубопровод проходит внутри напорного. По сравнению с первым типом эти установки более компактны и могут применяться в трубчатых колодцах меньшего сечения. Недостаток – сложность монтажа и повышенная металлоемкость.

3 Однолинейные установки, в которых напорным трубопроводом служит колонна обсадных труб колодца. Отличаются наименьшей металлоемкостью и допускают водоподъем из трубчатых колодцев диаметром 50...75 мм.

Гидравлический расчет водоструйной установки заключается в определении режима работы, при котором совместно работающий насос и струйный аппарат взаимно удовлетворяют друг друга по расходам и напорам и обеспечивают устойчивый режим работы установки при подаче потребителю расчетного расхода.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рисунок 14.3) состоит из центробежного насоса с электродвигателем, струйного аппарата (эжектора), напорного трубопровода, подводящего рабочий расход воды, водоподъемного трубопровода, по которому вода подводится к всасывающему патрубку насоса, ротаметров, приемного бака, обсадной трубы, изготовленной из стекла и закрепленной на опорной раме сварной конструкции, трубопроводов для подвода и слива воды, кранов, манометров и мановакуумметра.

Вода от насоса подается по трубопроводу с рабочим расходом Q_p , измеряемым ротаметром, в струйный аппарат, далее по трубопроводу поступает во всасывающую линию насоса. Таким образом, вода непрерывно циркулирует в замкнутой цепи: насосструйный аппарат. Часть расхода водоподъемника Q_o , называемая полезным расходом и измеряемая вторым ротаметром, поступает в приемный бак, откуда сливается в обсадную трубу.

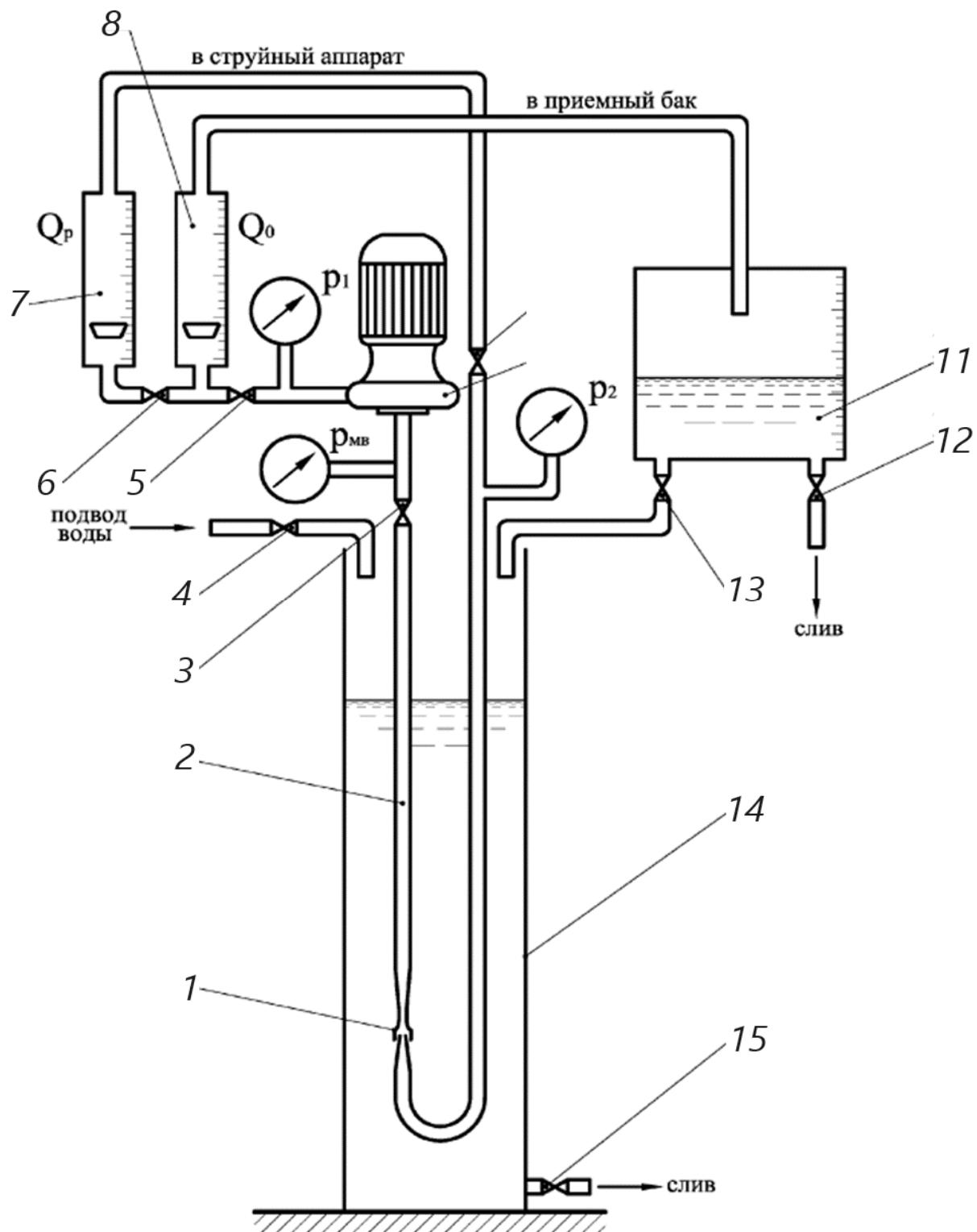
Порядок проведения работы

- 1 Залить воду в обсадную трубу 14, открыв кран 4 (рисунок 14.3).
- 2 Открыть краны 3, 9 и 13 (остальные краны должны быть закрыты) и включить электродвигатель насоса.
- 3 При помощи кранов 5, 6 отрегулировать расходы: рабочий Q_p и полезный Q_o в соотношении 1:1.
- 4 Записать показания ротаметров Q_p , Q_o , манометров p_1 , p_2 , мановакуумметра p_{mb} .
- 5 Отключить струйный аппарат, перекрыв вентиль 9.
- 6 Снять показания ротаметра, замеряющего полезный расход Q_o , манометра на напорном трубопроводе насоса p_1 , мановакуумметра p_{mb} .
- 7 Результаты экспериментов занести в таблицу 14.1.

Обработка опытных данных

- 1 Определить напор насоса:

$$H = \frac{p_1 \pm p_{mb}}{\gamma}. \quad (14.1)$$



1 – струйный аппарат; 2 – водоподъемный трубопровод; 3 – вентиль всасывающего трубопровода; 4 – вентиль подводящего трубопровода; 5, 6 – вентили ротаметров; 7 – ротаметр измерения рабочего расхода; 8 – ротаметр измерения полезного расхода; 9 – вентиль напорного трубопровода; 10 – насос; 11 – бак; 12 – вентиль слива воды из бака; 13 – вентиль возврата воды в обсадную трубу; 14 – обсадная труба; 15 – вентиль слива воды из установки

Рисунок 14.3 – Схема водоструйной установки

2 Рассчитать КПД водоструйной установки:

$$\eta = \frac{N_n}{N} = \frac{\gamma \left(H(Q_o + Q_p) - \frac{p_2}{\gamma} Q_p \right)}{\gamma \cdot H(Q_o + Q_p)} = \frac{H(Q_o + Q_p) - \frac{p_2}{\gamma} Q_p}{H(Q_o + Q_p)}, \quad (14.2)$$

где N_n – полезная мощность, Вт;

N – потребляемая мощность, Вт;

H – напор насоса, м.

3 Сравнить показатели работы насоса (напор и расход) при совместной работе со струйным аппаратом и без него.

4 Сделать выводы по работе.

Таблица 14.1 – Результаты опытных данных

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Опыт	
			1	2
Давление на входе в насос	p_{me}	кгс/см ²		
		Па		
Давление на выходе из насоса	p_1	кгс/см ²		
		Па		
Давление водоструйного аппарата	p_2	кгс/см ²		
		Па		
Расход потребителя	Q_o	см ³ /с		
Расход водоструйного аппарата	Q_p	см ³ /с		
Напор насоса	$H = \frac{p_1 \pm p_{me}}{\gamma}$	м		
КПД установки	$\eta = \frac{H(Q_o + Q_p) - \frac{p_2}{\gamma} Q_p}{H(Q_o + Q_p)}$	%		

Контрольные вопросы

1 Расскажите о назначении водоструйных водоподъемных установок и существующих их схемах.

2 Опишите конструкцию и принцип действия водоструйной водоподъемной установки. Какие существуют конструкции струйного аппарата?

3 С какой глубины можно поднимать воду с помощью этой установки?

- 4 Чему равен КПД водоструйной водоподъемной установки?
- 5 Перечислите достоинства этой установки.
- 6 Как определить напор водоструйной водоподъемной установки?
- 7 Каковы недостатки водоструйной водоподъемной установки?
- 8 В чем заключается гидравлический расчет водоструйной водоподъемной установки?
- 9 Какой тип насоса используется в конструкции водоподъемной установки?
- 10 Что необходимо сделать, прежде чем запустить в действие водоструйную водоподъемную установку?

15 Лабораторная работа № 15. Изучение работы воздушного водоподъемника (эрлифта)

Цель работы: приобрести практические навыки определения рабочих параметров эрлифта.

Общие сведения

Воздушные водоподъемники (эрлифты) применяются для подъема воды из глубоких скважин при пробных откачках для осветления воды в трубчатых колодцах после бурения, пастбищного водоснабжения, в случаях необходимости аэрации воды при содержании в ней растворенных газов, например, сероводорода и др.

Принцип действия эрлифта основан на законе сообщающихся сосудов – использовании разности сил давления столбов воды и водовоздушной смеси разной плотности (рисунок 15.1).

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{H - h}{H}, \quad (15.1)$$

где γ_1 – удельный вес воды;

γ_2 – удельный вес водовоздушной эмульсии;

$(H - h)$ – расстояние от форсунки до динамического уровня воды в скважине;

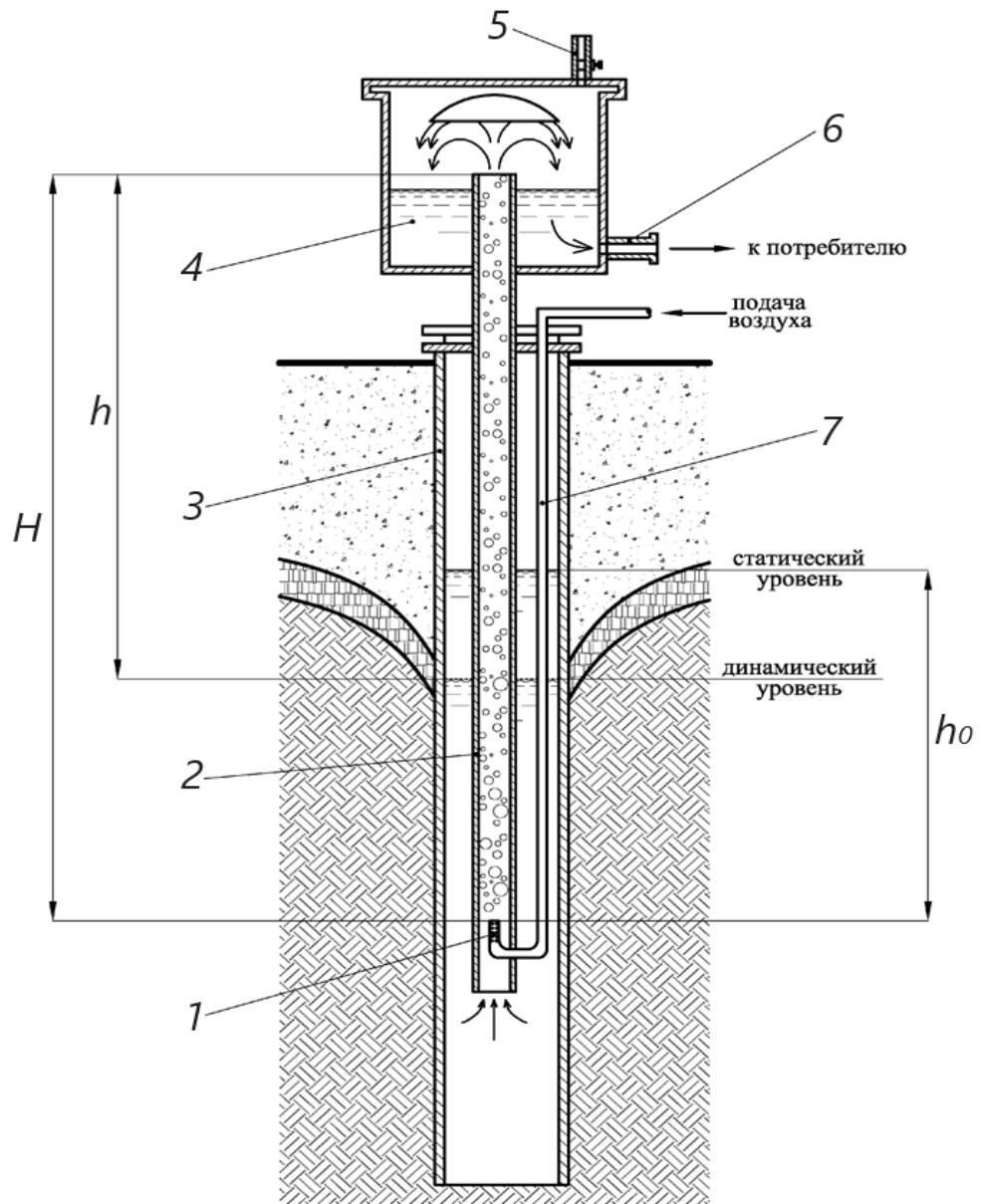
h – расстояние от динамического уровня до устья водоподъемной трубы;

H – расстояние от форсунки до устья водоподъемной трубы.

До образования водовоздушной эмульсии вода в водоподъемной трубе и в скважине установится на одном уровне (статический уровень). Сжатый воздух от компрессора через маслоотделитель и ресивер поступает в форсунку, где, смешиваясь с водой, образует водовоздушную смесь (эмulsionю). В силу того, что плотность водовоздушной смеси меньше плотности воды, смесь начинает двигаться по водоподъемной трубе. В результате этого вода начинает заходить в трубу и тут не превращается в эмульсию, столб эмульсии растет, и, когда уровень

ее достигает устья, она переливается в приемный бачок (сепаратор). В сепараторе при помощи отражателя вода отделяется от воздуха и по сливному патрубку поступает в сборный резервуар, а воздух через специальный патрубок выходит в атмосферу.

В зависимости от расположения воздушной трубы различают две системы эрлифтов: центральную (воздушная труба размещена внутри водоподъемной) и параллельную (воздушная труба находится рядом с водоподъемной). Эрлифты центральной системы имеют меньшие габариты; в качестве водоподъемной трубы могут быть использованы обсадные трубы скважины.



1 – форсунка; 2 – водоподъемная труба; 3 – обсадная труба; 4 – резервуар; 5 – патрубок для выхода воздуха; 6 – сливной патрубок; 7 – воздушная труба

Рисунок 15.1 – Схема эрлифта

При работе эрлифта необходимо, чтобы воздуховод и водоподъемная труба были погружены достаточно глубоко под уровень воды (динамический уровень) в скважине. Это необходимо для уравновешивания столба эмульсии и перемещения его вверх. Существенное влияние на работу и КПД эрлифта оказывает коэффициент погружения k , определяемый как отношение глубины погружения форсунки H к высоте подъема воды h :

$$k = \frac{H}{h}. \quad (15.2)$$

При недостаточной глубине погружения форсунки в связи с низким уровнем воды в скважине эмульсия не в состоянии преодолеть путь от места ее образования до сепаратора. Наилучшие условия для работы эрлифта создаются при значениях коэффициента погружения от 1,7 до 3,0. При значениях коэффициента погружения меньше 1,7 падает общий КПД эрлифта, а при значениях больше 3,0 возрастают эксплуатационные затраты. Наивыгоднейшее значение коэффициента погружения k выбирают на основании технико-экономических расчетов.

Размеры эрлифта, подачу и давление компрессора определяют расчетом.

На основании проведенных опытов Я. С. Суреньянц дает рекомендации для выбора коэффициента погружения k и КПД эрлифта η_s в зависимости от высоты подъема воды h (таблица 15.1).

Таблица 15.1 – Значения коэффициента погружения и КПД эрлифта

$h, \text{ м}$	До 15	15..30	30...60	60...90	90...100
k	3,0..2,5	2,5..2,2	2,2..2,0	2,0..1,75	1,75..1,65
η_s	0,59..0,57	0,57..0,54	0,54..0,5	0,5..0,41	0,41..0,4

Необходимый расход воздуха находят по так называемому удельному расходу, т. е. объему воздуха, необходимому для подъема 1 m^3 воды:

$$W_0 = \frac{h}{23\eta_s \lg \frac{h(k-1)+10}{10}}, \quad (15.3)$$

где η_s – гидравлический КПД эрлифта; по эмпирической формуле Я. С. Суреньянца $\eta_s = \frac{(k-1)^{0,85}}{1,05k}$ или из приведенных выше рекомендаций (таблица 15.1).

Общий расход воздуха при подъеме воды из скважины подсчитывают по формуле

$$W_k = \frac{1,2QW_0}{60}, \quad (15.4)$$

где Q – расход (подача) воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Пусковое давление компрессора p_n определяют по формуле

$$p_n = 0,01(H - h_0 + 2), \quad (15.5)$$

где h_0 – глубина статического горизонта воды в скважине, м.

Рабочее давление компрессора

$$p_p = 0,01(H - h + \sum h_B), \quad (15.6)$$

где $\sum h_B$ – сумма потерь напора в воздуховоде от компрессора до форсунки.

Для смягчения пульсации расхода воздуха, поступающего из компрессора, а также для сепарации из воздуха паров воды и масла на напорной воздушной линии устанавливают специальный резервуар – ресивер, объем которого зависит от производительности компрессора:

$$W_{pes} = (0,1 \dots 0,2)W_k. \quad (15.7)$$

Диаметр водоподъемных труб определяют в зависимости от скоростей движения смеси у форсунки $v_\phi = 2,5 \dots 3 \text{ м/с}$ и на изливе $v_u = 8 \dots 10 \text{ м/с}$. Соответственно, диаметр водоподъемной трубы эрлифта параллельной системы можно определить по следующим формулам:

– для сечения на уровне излива

$$d_u = \sqrt{\frac{Q}{0,785v_u}}(1 + W_0); \quad (15.8)$$

– для сечения над форсункой

$$d_\phi = \sqrt{\frac{Q}{0,785v_\phi}} \left[\frac{10W_0}{h(K-1)+10} \right]. \quad (15.9)$$

Диаметр воздушной трубы устанавливают по скорости движения сжатого воздуха в пределах $5 \dots 10 \text{ м/с}$ или по расходу воздуха (таблица 15.2).

Таблица 15.2 – Значения диаметров воздушной трубы

Расход воздуха Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	10...30	30...60	60...100	100...200	400...700	700...1000
Диаметр воздушной трубы d , мм	15...20	20...25	25...32	32...38	38...51	63...76

В эрлифте центральной системы при расчете учитывают стеснение живого сечения воздушной трубы. Если расчет покажет, что у форсунки диаметр трубы должен быть меньше, чем на уровне излива, то применяют телескопическую водоподъемную трубу.

Форсунка для впуска воздуха – перфорированный участок трубы с отверстиями диаметром от 4 до 6 мм. Суммарную площадь отверстий форсунки принимают в два-три раза больше площади сечения воздушной трубы. При центральном расположении труб в качестве форсунки используется перфорированный отрезок воздушной трубы.

Достоинства эрлифта: простота конструкции; отсутствие в скважине движущихся деталей; возможность работы в искривленных скважинах; подъем воды со значительным содержанием взвеси; регулирование подачи и высоты подъема воды изменением подачи воздуха; аэрация (насыщение воздухом) воды при подъеме; возможность обслуживания одной компрессорной станцией нескольких скважин.

Недостатки эрлифтных установок: низкий общий КПД установки (эрлифта и компрессора), не более 0,25...0,35; необходимость значительного заглубления форсунки под динамический уровень воды; потребность в насосе второго подъема; повышенные эксплуатационные расходы на компрессорное хозяйство.

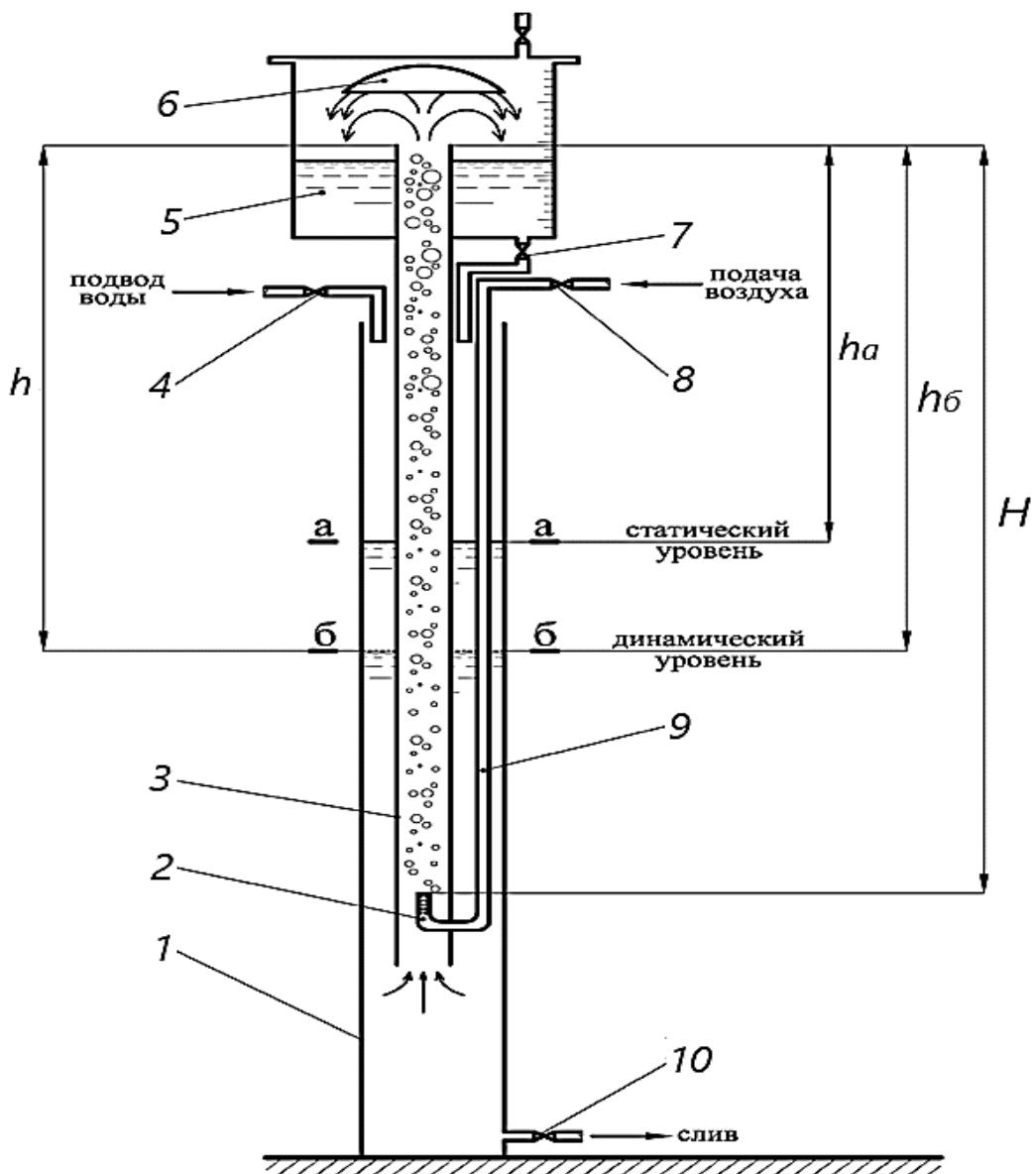
Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка (рисунок 15.2) состоит из обсадной трубы, изготовленной из стекла и закрепленной на опорной раме сварной конструкции, воздушного водоподъемника, включающего водоподъемную трубу из стекла, форсунку, выполненную из латуни, воздушную трубу, приемный бак с отражателем.

В водоподъемной и обсадной трубах уровень воды по закону сообщающихся сосудов устанавливается на высоте $a-a$ (статический уровень).

Сжатый воздух от компрессора по воздушной трубе через форсунку подается в водоподъемную трубу. Образующаяся при этом смесь воздуха и воды (эмulsия) легче воды, будет подниматься по водоподъемной трубе и выливаться в приемный бак.

После включения эрлифта статический уровень $a-a$ начнет понижаться и установится так называемый динамический уровень $b-b$, который будет тем ниже, чем интенсивнее откачка.



1 – обсадная труба; 2 – форсунка; 3 – водоподъемная труба; 4 – вентиль подачи воды в обсадную трубу; 5 – приемный бак; 6 – отражатель; 7 – вентиль слива воды из приемного бака; 8 – вентиль подачи воздуха; 9 – труба подачи воздуха; 10 – вентиль слива воды из обсадной трубы

Рисунок 15.2 – Схема экспериментальной установки

Эмульсия, выходя из водоподъемной трубы, ударяется об отражатель, при этом воздух отделяется от воды. Отработанный воздух удаляется через отверстия в крышке бака, а вода через отверстие в дне бака самотеком при открытом вентиле возвращается в обсадную трубу.

Порядок проведения работы

- 1 Открыть вентиль 4, наполнить водой обсадную трубу.
- 2 Определить уровень воды в обсадной трубе – статический уровень $a-a$ h_a .

3 Включить компрессор.

4 Открыть вентиль 8 подачи воздуха и отрегулировать необходимую подачу воздуха для непрерывного подъема воды.

5 Определить динамический уровень $б-б$ h_b воды в обсадной трубе.

6 Определить заглубление форсунки под динамический уровень h_ϕ и высоту подъема воды h .

7 Определить расход воды, поступающей в приемный бак. Для чего выполнить следующее.

7.1 Закрыть вентиль 7 слива воды из приемного бака.

7.2 Определить время, за которое в приемный бак поступит определенный объем воды. Объем контролировать по шкале приемного бака, протарированной в кубических сантиметрах.

7.3 Открыть вентиль 7.

8 Результаты наблюдений поместить в таблицу 15.3 опытных данных.

9 Произвести обработку опытных данных.

Таблица 15.3 – Таблица опытных данных

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Опыт	
			1	2
1 Статический уровень в обсадной трубе	h_a	см		
2 Динамический уровень в обсадной трубе	h_b	см		
3 Заглубление форсунки	H	см		
4 Заглубление форсунки под динамический уровень	$h_\phi = H - h_b$	см		
5 Давление нагнетания воздуха	p	МПа		
6 Высота подъема воды	h	см		
7 Объем воды в мерном баке	W	см ³ дм ³		
8 Время замера	t	с		
9 Расход воды при непрерывной подаче эрлифта	$Q = \frac{W}{t}$	дм ³ /с		
10 Коэффициент погружения	$k = \frac{H}{h}$	–		
11 Пусковое давление компрессора	$p_n = 0,01(H - h + 2)$	МПа		
12 Гидравлический КПД эрлифта	$\eta_s = \frac{(k - 1)^{0,85}}{1,05k}$	–		

Обработка опытных данных

1 Рассчитать заглубление форсунки под динамический уровень:

$$h_\phi = H - h_b. \quad (15.10)$$

2 Вычислить расход воды при непрерывной подаче эрлифта:

$$Q = \frac{W}{t}. \quad (15.11)$$

3 Рассчитать коэффициент погружения форсунки:

$$k = \frac{H}{h}. \quad (15.12)$$

4 Определить пусковое давление компрессора:

$$p_n = 0,01(H - h + 2), \quad (15.13)$$

где h_a – глубина статического горизонта воды в скважине, м.

5 Вычислить гидравлический КПД эрлифта:

$$\eta_g = \frac{(k-1)^{0,85}}{1,05k}. \quad (15.14)$$

6 Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Расскажите о назначении, конструкции и принципе действия воздушных водоподъемных установок (эрлифтов).
- 2 В чем заключается гидравлический расчет эрлифта?
- 3 Чему равен КПД воздушного водоподъемника?
- 4 С какой глубины можно поднимать воду с помощью эрлифта?
- 5 Что такое статический уровень воды?
- 6 Что такое динамический уровень воды?
- 7 Какой гидравлический закон лежит в основе работы эрлифта?
- 8 Что является источником сжатого воздуха в эрлифте?
- 9 Достоинства и недостатки воздушных водоподъемных установок.
- 10 Как определить пусковое и рабочее давление компрессора эрлифта?

Список литературы

- 1 **Шейпак, А. А.** Гидравлика и гидропневмопривод. Основы механики жидкости и газа : учебник / А. А. Шейпак. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 272 с.
- 2 **Лепешкин, А. В.** Гидравлика и гидропневмопривод. Гидравлические машины и гидропневмопривод : учебник / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2025. – 446 с.