

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления подготовки 21.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра транспорта и хранения нефти и газа

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов направления подготовки 21.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022

УДК 622.692 (073)

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ:

Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.А. Иваник, А.А. Лягова, А.В. Шалыгин*. СПб, 2022. 54 с.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями рабочей программы по дисциплине «Эксплуатация насосных и компрессорных станций». Основные задачи дисциплины: изучение рабочего оборудования насосных и компрессорных станций (НКС), освоение методологического подхода к оценке технологических режимов эксплуатации, инженерного обеспечения объектов НКС, формирование представлений о типах насосов, компрессоров, устройствах компрессорных цехов и насосных станций, навыков эксплуатации основных и вспомогательных систем НКС, представлений о гидравлических и гидромеханических процессах, происходящих при транспорте и хранении нефти и газа, навыков решения производственно-технологических, научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных задач. Трудоёмкость лабораторных работ по учебной дисциплине составляет 10 часов. Методические указания предназначены для студентов бакалавриата направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» по профилям «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки» и «Сооружение объектов и систем трубопроводного транспорта».

Научный редактор проф. *И.А. Шаммазов*

Рецензент главный инженер, *А.В. Пономаренко*, (ООО «Перфобур»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей составной частью магистральных нефте- и газопроводов являются насосные и компрессорные станции, без надежной работы которых невозможна поставка нефти, нефтепродуктов и газа от мест добычи к потребителям. В связи с оснащением насосных и компрессорных станций современным оборудованием требуются глубокие знания по эксплуатации как основных, так и вспомогательных систем; типам насосов и компрессоров, устройству компрессорных цехов, насосных станций и контрольно-измерительных приборов, технологическим режимам эксплуатации, инженерному обеспечению объектов насосных и компрессорных станций.

Целью методических указаний к выполнению лабораторных работ является закрепление теоретической базы изучаемого курса дисциплины «Эксплуатация насосных и компрессорных станций» и приобретение обучающимися навыков по экспериментальному построению характеристик центробежного насоса с открытым и закрытым рабочим колесом, вихревого насоса в координатах давление-подача, а также изучение конструкции данного типа насосов. В рамках лабораторных работ студенты также могут провести исследование характеристик последовательно и параллельно соединенных насосов.

Освоение представленного материала способствует подготовке более квалифицированных специалистов в области трубопроводного транспорта, адаптированных к реальным условиям производства и с глубокими знаниями основных технологических схем и классификации насосных станций, типов и конструкций применяемых насосов, их компоновок, характеристик основных объектов и вспомогательных систем насосных цехов.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Нефтеперекачивающая станция (НПС) – площадочный объект, включающий в себя комплекс зданий, сооружений и устройств, обеспечивающих его безопасную и надежную эксплуатацию, и предназначенный для выполнения технологических операций по приему, накоплению, учету и перекачке нефти.

На магистральных нефтепроводах используется в основном три вида нефтеперекачивающих станций (НПС):

- головные нефтеперекачивающие станции нефтепроводов (ГНПС);
- промежуточные нефтеперекачивающие станции (ПНПС);
- головные нефтеперекачивающие станции эксплуатационных участков нефтепровода (ГНПС эксплуатационных участков).

Состав головной нефтеперекачивающей станции представлен на рисунке 1.

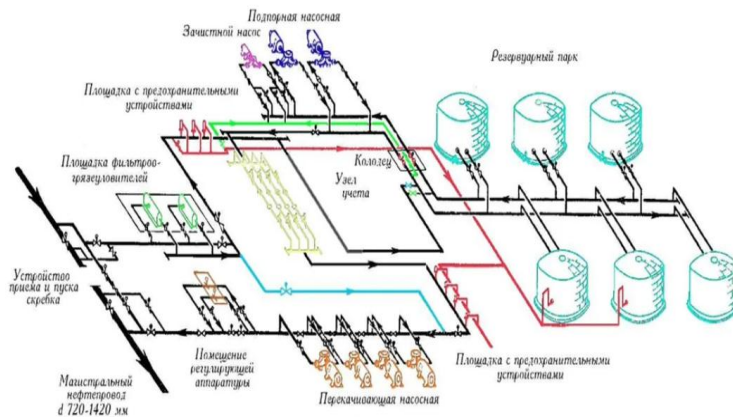


Рис. 1. Общий вид головной нефтеперекачивающей станции

К основным объектам НПС относятся:

- Магистральная насосная
- Подпорная насосная
- Узел учёта нефти с фильтрами
- Резервуарный парк
- Система сглаживания волн давления
- Узел регулирования давления
- Камеры пуска и приёма очистных устройств
- Технологические трубопроводы с запорной арматурой.

Главное технологическое оборудование насосных станций - перекачивающие (насосные) агрегаты, обеспечивающие выполнение главной функции насосной станции – транспортировку нефти (нефтепродукта) по трубопроводу [1, 2].

Насосом называется гидравлическая машина, в которой подводимая извне энергия (механическая, электрическая) преобразуется в энергию потока жидкости.

По принципу действия насосы делятся на: динамические и объемные.

В динамических насосах жидкость приобретает энергию в результате силового воздействия на нее рабочего органа в рабочей камере. К такому типу насосов относятся: лопастные, вихревые, струйные, вибрационные.

В объемных насосах жидкость приобретает энергию в результате воздействия на нее рабочего, периодически изменяющего объем рабочей камеры. К такому типу насосов относятся: поршневые и плунжерные, а также роторные.

Устройство и принцип действия центробежных машин.

На рисунке 2 представлен принцип работы центробежного лопастного насоса.

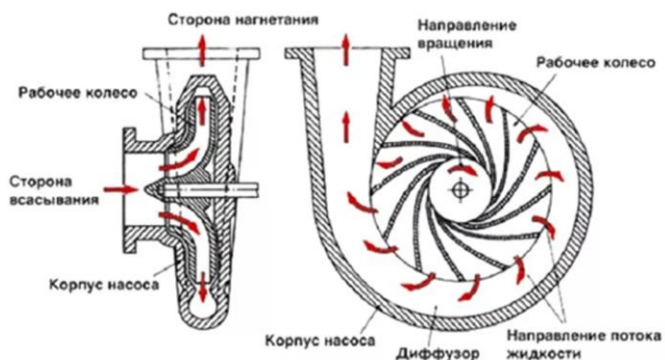


Рис. 2. Принципиальная схема работы центробежной машины.

Схема центробежной машины представлена на рисунке 3.

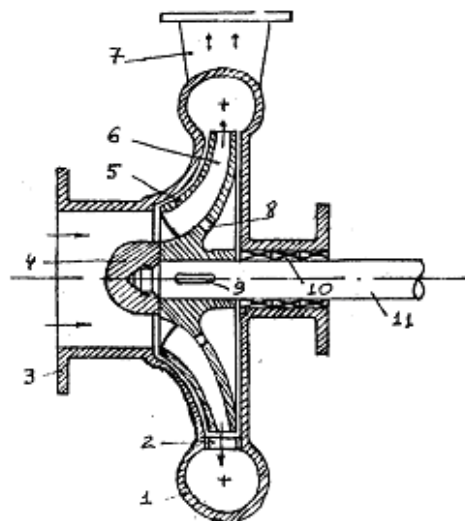


Рис. 3. Схема центробежной машины:

1 – корпус; 2 – направляющий аппарат; 3 – всасывающий патрубок; 4 – специальная гайка; 5 – рабочее лопастное колесо; 6 – лопатки рабочего колеса; 7 - нагнетательный патрубок; 8 – отверстия для обеспечения перетока жидкости; 9 – шпонка; 10 – сальниковое уплотнение; 11 – вал рабочего колеса

Жидкость входит в машину параллельно оси вала, а выходит перпендикулярно данной оси (стрелки входа и выхода). Рабочее колесо имеет лопатки 6, поэтому такую машину называют лопастной. В корпусе насосного агрегата сооружен **распирающий канал**, расположенный напротив выхода жидкости из рабочего колеса, который **служит для сбора и отделения жидкости**.

Канал имеет форму расширяющейся спирали, которая заканчивается **диффузором 7**, в котором и **происходит преобразование кинетической энергии жидкости в потенциальную (давление)**.

Рабочее колесо имеет два диска – передний и задний (рисунок 4а), между которыми устанавливаются лопатки, как правило (для насосов), загнутые в сторону, обратную направлению

вращения. Такие рабочие колеса называются рабочим колесом закрытого типа.

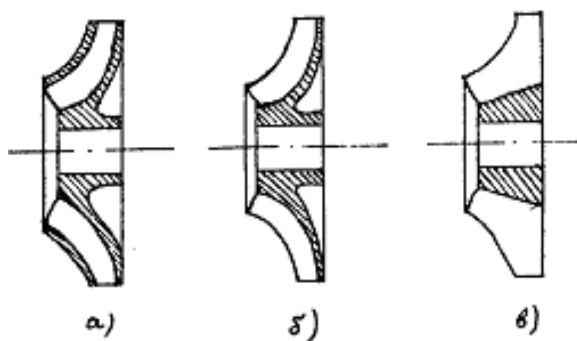


Рис. 4. Типы рабочих колес:
а) закрытого типа, б) полужакрытого типа, в) открытого типа

Насосная (насосный цех) – сооружение НПС, в котором устанавливается оборудование для перекачки:

- основное (магистральные, подпорные насосы, электродвигатели);
- вспомогательное (системы смазки, охлаждение, подачи топлива, контроля и защит).

Магистральные и подпорные насосные агрегаты потребляют 92-97% всей энергии подводимой к НПС, поэтому качество изготовления, оптимальный выбор рабочих колес и современные конструкции их узлов, рациональная технология ремонта, постоянный контроль и анализ рабочих параметров определяют высокие требования к технологии их эксплуатации [3,5].

Насосные цеха могут быть:

- закрытыми, т.е. расположенными в зданиях (рисунок 5);
- открытыми, в которых насосные агрегаты размещены под навесами или на открытых площадках (рисунок 6).



Рис. 5. Общий вид закрытого насосного цеха.



Рис. 6. Общий вид открытого насосного цеха.

Компоновка насосного цеха: Соединение насосов на НПС может быть:

- Параллельным;
- Последовательным;
- Комбинированным.

При параллельном включении насосы имеют общие всасывающий и нагнетательный коллекторы. Поэтому напор группы насосов равен напору одного из них, а подача увеличивается в число раз, равное количеству работающих насосов.

При последовательном включении нефть проходит один насос за другим, получая в каждом из них приращение напора.

На современных нефте- и нефтепродуктопроводах параллельное включение чаще применяется для подпорных насосов, а последовательное — для магистральных.

Нередко встречается комбинированное (последовательно-параллельное) соединение насосов.

Схемы соединения насосов представлены на рисунке 7.

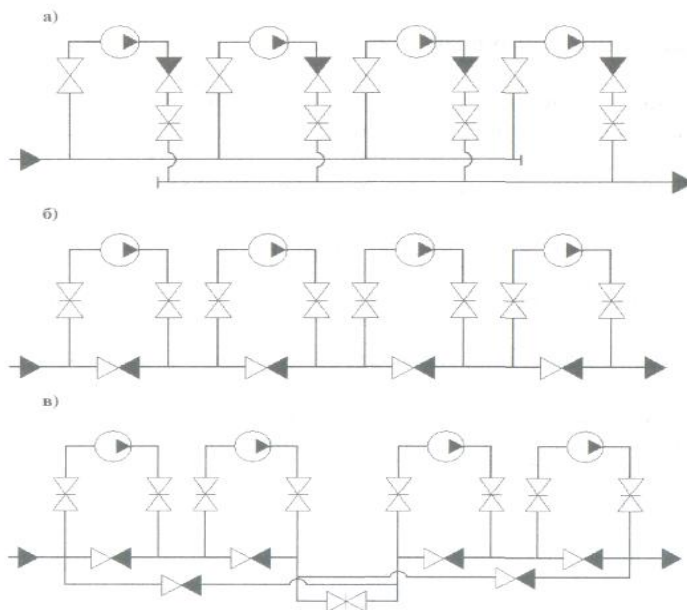


Рис. 7. Схемы соединения насосов:
а) параллельное; б) последовательное; в) комбинированное
(последовательно-параллельное)

Технологическая схема насосного цеха представлена на рисунке 8.

В последние годы здание насосного цеха принято делать каркасным, как правило, одноэтажным. Длина каждого отделения закрытой насосной не должна превышать 90 м [4]. При большей длине насосная должна разделяться несгораемыми стенами на отсеки. Расстояние между насосами в насосном цехе не превышает 12 м.

План насосного цеха представлены на рисунке 9.

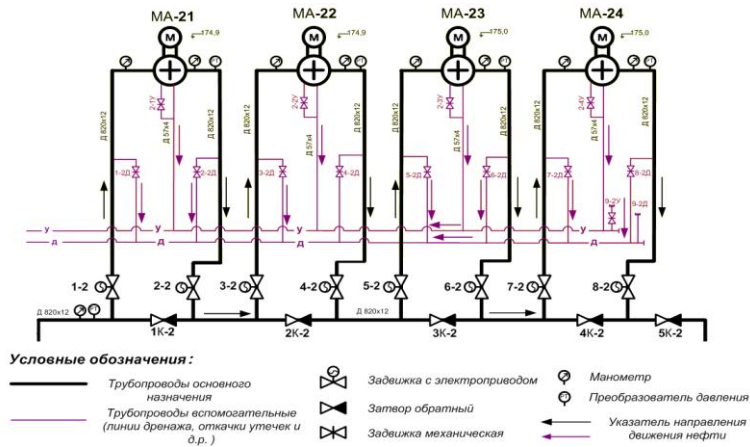


Рис. 8. Технологическая схема насосного цеха.

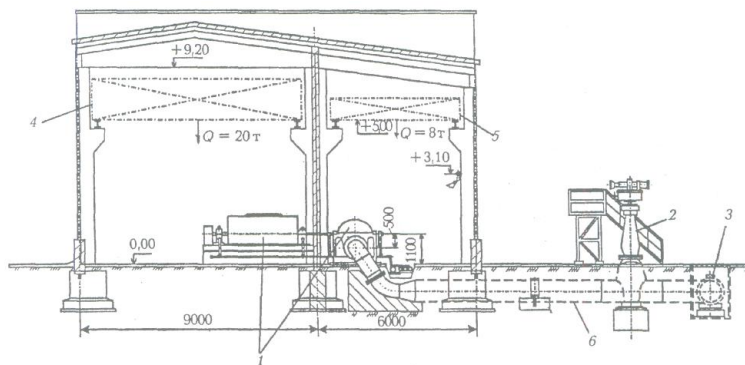


Рис. 9. План насосного цеха.

2 МАГИСТРАЛЬНЫЕ И ПОДПОРНЫЕ НАСОСЫ

На НПС магистральных нефтепроводов используется два вида технологических насосов – подпорные и основные [6].

Основная и подпорная насосные (или насосные цеха) предназначены для размещения в них соответственно магистральных и подпорных насосов, осуществляющих перекачку нефти или нефтепродуктов.

- Основными насосами оборудуются основные НС ГНПС и ПНПС. Данные насосы предназначены для непосредственного транспорта нефти;
- Подпорные насосы используются только на ГНПС (на их подпорных станциях) и играют вспомогательную роль. Они служат для отбора нефти из резервуарного парка и подачи ее на вход основным насосам с требуемым давлением (подпором), предотвращающим кавитацию в основных насосных агрегатах.

Классификация перекачивающих агрегатов насосных станций представлена на рисунке 10.

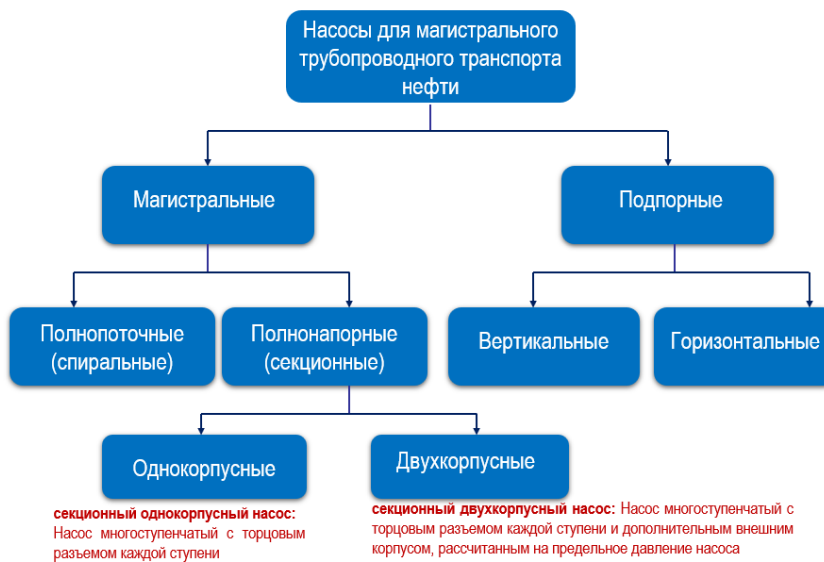


Рис. 10. Классификация перекачивающих агрегатов насосных станций.

Кроме насосов в цехах монтируются вспомогательные системы, предназначенные для обеспечения надежной работы насосов в заданных параметрах:

- система разгрузки и охлаждения торцевых уплотнений;
- система смазки и охлаждения подшипников насосов и двигателей;
- система охлаждения насосно-силового агрегата;
- система сбора утечек от торцевых уплотнений;
- система подготовки и подачи сжатого воздуха;
- система контроля и защиты насосных агрегатов.

На магистральных трубопроводах применяются в основном лопастные машины, а из них широко используются центробежные, благодаря высокой экономичности, надежности, удобству эксплуатации, малым габаритным размерам. Создаваемое ими давление достигает **30 МПа**, а подача **до 240 000 м³/ч**.

Для перекачки нефти по нефтепроводам применяются магистральные (типа НМ) и подпорные (типа НПВ) насосы. На их долю приходится около **90%** парка всех насосов. Кроме того, в качестве магистральных используются насосы типа НД (насос дозировочный) и ЦНС (Ц – центробежный, Н- насос, С - секционный).

Современным типом основных насосов являются насосы НМ (нефтяные магистральные), которые выпускаются на подачу от 125 до 12 500 м³/ч. Данные насосы имеют две конструктивные разновидности. Центробежные насосы могут быть секционными (рисунок 11) и спиральными (рисунок 12).

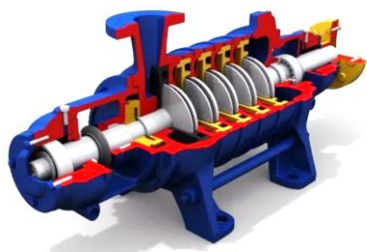


Рис. 11. Насос секционного типа

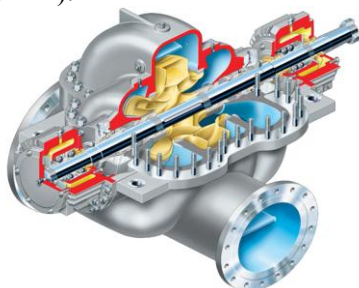


Рис. 12. Насос спирального типа

В насосах секционного типа преобразование скоростной энергии в энергию давления происходит в направляющем аппарате.

В насосах спирального типа преобразование скоростной энергии происходит в спиральной камере.

Насосы на подачу от 125 до 710 м³/ч секционные, трёхступенчатые. Ротор насоса включает вал, насаженные на него три центробежных колеса и одно предвключенное литое колесо типа шнек. Опорами ротора служат подшипники скольжения с кольцевой смазкой. Охлаждение масла осуществляется с помощью змеевиков, размещенных в корпусах подшипниковых узлов. Через змеевики циркулирует вода или перекачиваемая нефть. Ротор имеет гидравлическую разгрузку от осевых сил, осуществляемую с помощью разгрузочного диска. Остаточные осевые силы воспринимаются радиально-упорным шарикоподшипником [7, 8, 10].

Конструкция таких насосов рассчитана на давление до 9,9 МПа. Поэтому они допускают последовательное соединение не более двух насосов на подачу от 125 до 360 м³/ч и не более трех насосов на подачу 500 и 710 м³/ч.

Насосы НМ производительностью от 1250 м³/ч до 12 500 м³/ч спиральные одноступенчатые. Корпус их имеет улиткообразную форму с разъемом в горизонтальной плоскости по оси ротора. Ротор состоит из вала и центробежного колеса двухстороннего входа, обеспечивающего ротору, благодаря своей конструкции, гидравлическую разгрузку от осевых сил. Опорами ротора служат подшипники – скольжения с принудительной смазкой (под давлением). Неуравновешенные остаточные осевые силы воспринимает радиально-упорный сдвоенный шарикоподшипник. В подобных насосах используются торцевые уплотнения, которые монтируются в корпусе в месте выхода из него вала. Конструкция спиральных насосов типа НМ рассчитана на давление 7,4 МПа, что допускает последовательное соединение не более трёх насосов данного вида.

Для повышения экономичности нефтепроводного транспорта при изменении производительности перекачки у спиральных насосов предусмотрено применение сменных роторов с рабочими колёсами на подачу 0,5 и 0,7 от номинальной (насос на подачу 1250 м³/ч имеет один сменный ротор на 0,7 номинальной подачи, а насос на

подачу 10000 м³/ч – дополнительный ротор на подачу 1,25 от номинальной).

При проектировании оборудования насосной станции наиболее экономичным способом регулирования центробежных насосов является изменение их режимных параметров путем изменения частоты вращения ротора. Однако следует учитывать, что этот способ требует дополнительных капитальных затрат на приобретение устройств для изменения частоты вращения [9].

Полная маркировка насосов типа НМ содержит группу буквенных обозначений, например: НМ 7000-210, где НМ обозначает нефтяной магистральный, 7000 – подачу в м³/ч, 210 – напор в метрах столба перекачиваемой жидкости.

Марка насоса означает:

Н — нефтяной,

М — магистральный,

цифры после букв — подача (м³/ч), напор (м).

Пример:

НМ 3600-230 – насос нефтяной магистральный с подачей 3600 м³/ч, напором 230 м.

Технические характеристики секционных насосов типа НМ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики секционных насосов типа НМ

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Дополнительный кавитационный запас, м	КПД, %	Масса, кг
НМ 125-550	125	550	2980	4,0	72	1950
НМ 180-500	180	500	2980	4,0	74	1950
НМ 250-475	250	475	2980	4,5	77	3100
НМ 360-460	360	460	2980	4,5	80	3200
НМ 500-300	500	300	2980	4,5	80	2800
НМ 710-280	710	280	2980	6,0	80	2920

Технические характеристики спиральных насосов типа НМ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики спиральных насосов типа НМ

Типоразмер насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Дополнительный кавитационный запас, м	КПД, %	Масса, кг
НМ 1250-260	1250	260	3000	20	80	2800
НМ 1800-240	1800	240		24	82	3500
НМ 2500-230	2500	230		32	86	3920
НМ 3600-230	3600	230		38	87	4490
НМ 5000-210	5000	210		42	88	4600
НМ 7000-210	7000	210		52	89	6125
НМ 10000-210	10000	210		65	89	9795
НМ 10000-210 со сменным ротором на 12500 м ³ /ч	12500	210		87	87	9795

В настоящее время подпорные насосы изготавливаются в вертикальном исполнении. Такие насосы не требуют специальной насосной, что приводит к экономии капитальных затрат. Диапазон подачи подпорных насосов марки НПВ от **150 до 5000 м³/ч** и напоров от **60 до 120 м**.

Насос нефтяной подпорный вертикальный представлен на рисунке 13.

Современным типом подпорных насосов являются насосы НПВ (нефтяные подпорные вертикальные). Они выпускаются четырёх типоразмеров: НПВ 1250-60, НПВ 2500-80, НПВ 3600-90, НПВ 5000-120. Цифры в маркировке указывают на производительность (м³/ч) и напор насоса (м).



Рис. 13. Насос нефтяной подпорный вертикальный.

Такие насосы размещаются в стакане, расположенном под уровнем земли, практически на отметке трубопровода. Приводящий двигатель находится на поверхности [11]. Конструкция насоса (рисунки 14) включает центробежное рабочее колесо двухстороннего входа, и предвключенное с каждой стороны колеса типа шнек. Направляющие подшипники ротора – подшипники скольжения, они смазываются и охлаждаются перекачиваемой нефтью. Удерживание ротора от перемещения в осевом направлении производится сдвоенными радиально-упорными шарикоподшипниками, имеющими консистентную смазку. Ротор насоса гидравлически уравновешен применением на нём центробежного колеса двухстороннего входа, уплотнение ротора – механическое, торцевого типа [12, 13].

Помимо насосов НПВ на ГНПС достаточно широко ещё используются подпорные насосы типа НМП (нефтяные магистральные подпорные).

Эти насосы горизонтальные, наземной установки. Ротор их аналогичен ротору насоса НПВ, уплотнения торцевые, подшипники качения с кольцевой смазкой. Корпус спиральный с разъемом в горизонтальной плоскости – подобен корпусу насосов НМ.

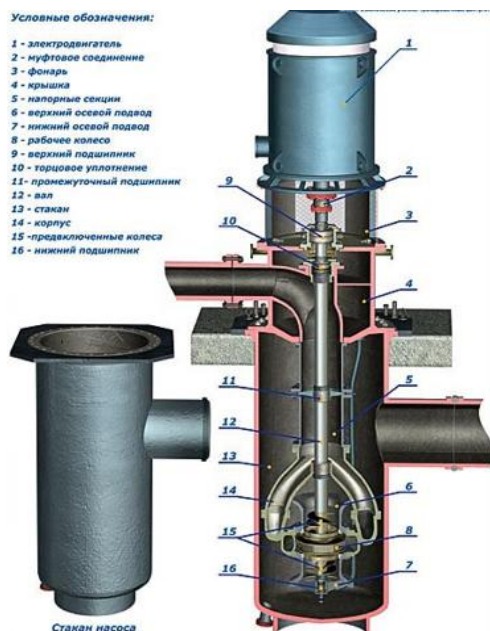


Рис. 14. Конструкция насосного агрегата с насосом типа НПВ.

Маркировка насосов НПВ аналогична маркировке насосов НМ. Эти насосы горизонтальные одноступенчатые с колесом двустороннего входа. Устанавливаются в специальных помещениях, имеющих заглибления до 5 м.

Основные насосы на НПС соединяются между собой главным образом **последовательно**. При этом допускается иметь не более трёх рабочих насосов, исходя из прочности агрегатов. В дополнение к трём рабочим насосам на станциях устанавливается по одному резервному агрегату [14].

В отдельных случаях, например, при прохождении в одном коридоре нескольких нефтепроводов, на НПС параллельно уложенных магистралей помимо последовательного соединения насосов предусматривается возможность перехода к смешанной параллельно-последовательной схеме соединения всех четырёх агрегатов, включая резервный, а также переход к параллельной схеме работы насосов.

Такие возможности предусматриваются на аварийный случай.

При выходе из строя какой-либо НПС, соседняя с ней станция на параллельной магистрали переводится на смешанную или параллельную работу насосов.

При этом к станции подключаются сразу два нефтепровода – собственный нефтепровод рассматриваемой станции и нефтепровод аварийной НПС. Отмеченное позволяет не прекращать перекачку по аварийному нефтепроводу и поддерживать его производительность на достаточно удовлетворительном уровне.

Подпорные насосы соединяются между собой только **параллельно**. В основном на подпорной станции используется один или два рабочих насоса и один резервный. При выборе типа насоса следует обратить внимание на его характеристики, т.е. графические или аналитические зависимости основных параметров насосов (напора мощности К.П.Д., допустимого кавитационного запаса или высоты всасывания) от подачи.

3 ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ НАСОСОВ

Основные энергетические и эксплуатационные показатели работы насосов определяются их техническими и энергетическими параметрами.

К ним относятся:

- подача Q ;
- напор H ;
- мощность N ;
- КПД насоса η ;
- кавитационный запас Δh .

Напор насоса H - это приращение удельной энергии жидкости при ее прохождении от входа до выхода из насоса.

Под удельной энергией жидкости в гидромеханике понимается выражение (3.1):

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} + z \quad (3.1)$$

где p — давление, u — средняя скорость, z — высотная отметка центра рассматриваемого сечения.

Согласно указанному выше определению:

$$H = H_H - H_B = \left(\frac{p_n}{\rho g} + \frac{u_n^2}{2g} + z_n \right) - \left(\frac{p_e}{\rho g} + \frac{u_e^2}{2g} + z_e \right) \quad (3.2)$$

После группировки:

$$H = \frac{p_n - p_e}{\rho g} + \frac{u_n^2 - u_e^2}{2g} + z_n - z_e \quad (3.3)$$

В инженерной практике часто разностью скоростных напоров на выходе и входе пренебрегают.

Разность геодезических отметок (Δz) также часто принимается равной нулю, поэтому широкое применение имеет упрощенная формула (3.4):

$$H = \frac{p_n - p_e}{\rho g} \quad (3.4)$$

Один из важных показателей — мощность. Различают:

- потребляемую мощность
- полезно затрачиваемую (полезную) мощность насоса.

Под **потребляемой мощностью** понимают мощность, подводимую к насосу (мощность на валу насоса) (рисунок 15).

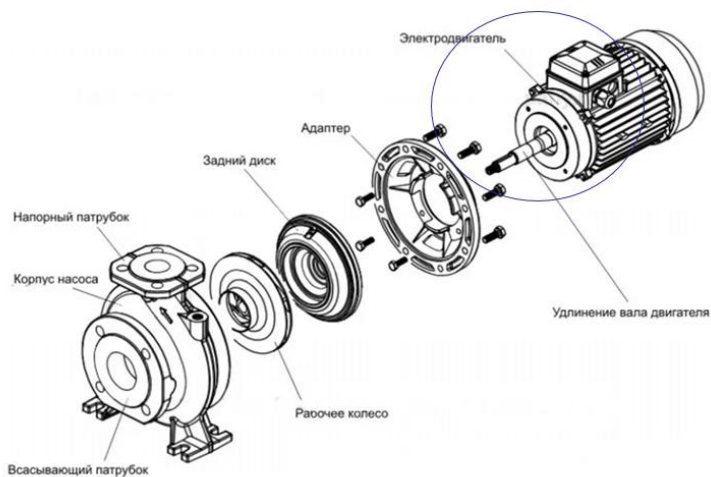


Рис. 15. Условное обозначение потребляемой мощности.

Для магистральных насосов потребляемую мощность обычно определяют по мощности, подводимой к электродвигателю ($N_{дв}$) с учетом потерь в нем:

$$N = N_{дв} \cdot \eta_{дв} \quad (3.5)$$

где $\eta_{дв}$ - коэффициент полезного действия двигателя

Полезная мощность — это полезная работа насоса за единицу времени (мощность, передаваемая потоку или гидравлическая мощность):

$$N_n = \rho g H Q \quad (3.6)$$

Чтобы понять какая мощность нужна на валу и подобрать электродвигатель для насоса, необходимо найти отношение полезной мощности к КПД насоса в рабочей точке (с запасом на 10-15%)

Коэффициентом полезного действия насоса называется отношение полезной мощности, отдаваемой насосом жидкости (N_n), к мощности на валу насоса.

$$\eta = \frac{N_n}{N} = \frac{\rho g H Q}{N} \quad (3.7)$$

КПД лопастных насосов достигает **0,9-0,95**.

Рабочие характеристики насоса:

- Q-H (чем больше расход обеспечивает насос, тем меньше напор он может создать) (рисунок 16);
- Q-P (чем больше расход обеспечивает насос, тем больше он потребляет мощность) (рисунок 17);
- Q- η (любой центробежный насос проектируется на рабочую точку с максимальным КПД) (рисунок 18).

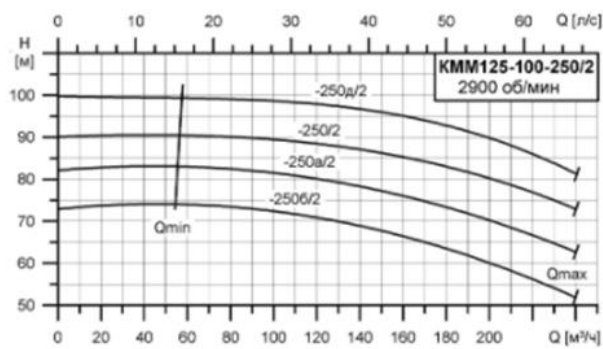


Рис. 16. Рабочие характеристики насоса Q-H.

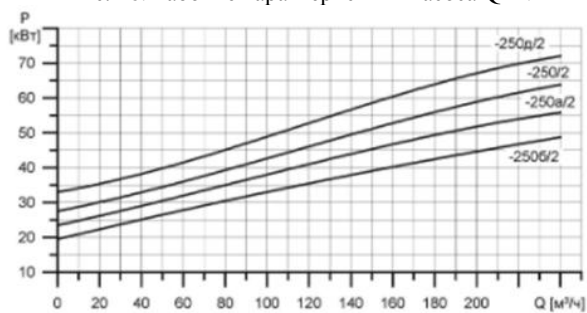


Рис. 17. Рабочие характеристики насоса Q-P.

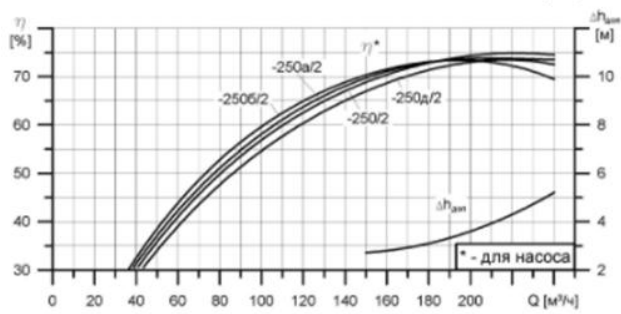


Рис. 18. Рабочие характеристики насоса Q- η.

Кавитационным запасом (рисунок 19) насоса Δh называется превышение удельной энергии жидкости на входе в насос над удельной энергией насыщенных паров перекачиваемой жидкости.

Этот запас необходим для того, чтобы предотвратить возникновение кавитации при работе насоса.

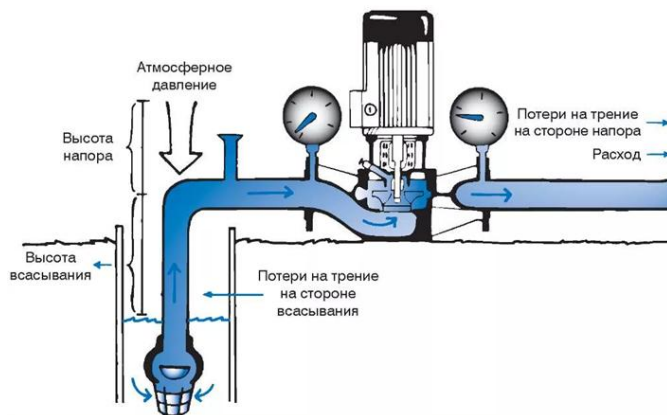


Рис. 19. Схематичное отображение кавитационного запаса насоса.

Коэффициент быстроходности:

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (3.8)$$

где n - частота вращения ротора агрегата; Q - подача, $\text{м}^3/\text{с}$; H - напор, развиваемый машиной, м.

Под **коэффициентом быстроходности n_s** данного рабочего колеса понимается частота вращения колеса эталонного агрегата, который развивает полезную мощность **0,736 кВт** и создает напор в **1 м** при **максимальном КПД**

Коэффициент быстроходности является одним из критериев подобия и играет важную роль при классификации перекачивающих агрегатов и их рабочих колес.

По величине коэффициента быстроходности центробежные насосы подразделяются на:

- тихоходные
- нормальной быстроходности
- быстроходные.

Тихоходные насосы имеют $n_s = 40 \dots 80$.

Нормальной быстроходности $n_s = 80 \dots 150$

Быстроходные $n_s = 150 \dots 300$.

С ростом коэффициента быстроходности радиальные размеры рабочих колес уменьшаются. При одних и тех же значениях частоты вращения и подачи насосы с большим коэффициентом быстроходности будут развивать меньшее давление. При равной частоте вращения и давлении насос с большим коэффициентом быстроходности будет иметь большую подачу.

Рекомендуемая заводом-изготовителем область применения насосов по подаче называется **рабочей зоной**. Рабочей зоне отвечают наиболее высокие значения К.П.Д. насоса.

Область применения насоса может быть расширена обточкой их рабочих колёс. Насосы магистральных нефтепроводов допускается обтачивать не более чем на 10%, т.к. при большем значении обточки рабочих колёс наблюдается заметное снижение К.П.Д. насосов/

Допустимый кавитационный запас, приводимый на характеристике насоса - есть минимально допустимый избыток удельной энергии перекачиваемой жидкости на входе в насос над удельной энергией насыщенных паров жидкости, при котором не происходит холодного кипения жидкости в насосе или кавитации. С помощью

этой величины рассчитывают минимально допустимое давление на входе в насос $P_{вх\min}$. При давлениях на входе в насос, больших $P_{вх\min}$, кавитации в насосе не наблюдается. Насосы НПС и линейная часть нефтепровода составляют единую гидро-динамическую систему. Режим работы такой системы определяется её рабочей точкой. Рабочей точкой системы, состоящей из нескольких насосов и нескольких трубопроводов, называется точка пересечения суммарной H-Q характеристики всех насосов с суммарной H-Q характеристикой всех трубопроводов системы.

Рабочая точка системы характеризует гидродинамическое единство её элементов (насосов и трубопроводов) и показывает, что насосы развивают только такие напоры и подачи, которые равны гидравлическому сопротивлению и пропускной способности трубопроводов. Рабочая точка системы определяет рабочие точки отдельных насосов, входящих в систему. Рабочие точки насосов (их H и Q координаты) показывают напор и подачу, развиваемые насосами при работе их в данной системе. При определении рабочей точки системы часто режимы работы насосов необходимо изменять - регулировать. Существующие методы регулирования работы НПС подразделяются на методы плавного и ступенчатого регулирования. К теоретически возможным методам плавного регулирования относятся: перепуск, дросселирование, изменение числа оборотов ротора насосов.

К методам ступенчатого регулирования относят: изменение числа работающих насосов НПС, изменение схемы соединения насосов на НПС, изменение числа ступеней у многоступенчатых насосов, замена роторов (рабочих колёс) насосов, изменение диаметра рабочего колеса насосов.

Метод регулирования перепуском состоит в перепуске части жидкости с выхода насоса вновь на его вход. При этом происходит изменение характеристики трубопроводной системы, на которую работает насос и изменяется месторасположение рабочей точки НПС. Это влечёт за собой изменение режима работы нефтепровода и дополнительные потери энергии. При этом производительность нефтепровода всегда только снижается.

Регулирование режима работы НПС **дресселированием** состоит в изменении сопротивления потоку жидкости путем сужения площади его поперечного сечения в каком-либо его месте. Реализуется данный метод на узлах регулирования НПС с помощью регуляторов давления или регулирующих заслонок. Данный метод регулирования также неэкономичен, т.к. НПС непроизводительно развивает излишний напор, что увеличивает стоимость транспорта нефти.

При регулировании режима работы НПС **изменением частоты вращения ротора насосов** происходит изменение $H-Q$ характеристик насосов без изменения КПД. Поэтому этот способ наиболее экономичный, но его реализация требует дополнительных капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования, с помощью которого можно менять частоту вращения ротора.[3,4,5]

Методы ступенчатого регулирования имеют в своём большинстве один общий недостаток – режим работы НПС и нефтепровода при их осуществлении изменяется ступенчато, что не всегда отвечает необходимой степени изменения режима работы и часто требует подрегулирования с помощью неэкономичного метода дресселирования. Поэтому методы ступенчатого регулирования не всегда обеспечивают транспорту нефти минимально возможные энергозатраты.

К тому же при обточке диаметров рабочих колёс центробежных насосов НМ, НПВ и НМП без изменения их ширины законы подобия перестают действовать, и расчеты режимов работы производятся по экспериментальным формулам. Эффективность работы основного оборудования НПС определяется главным образом энергозатратами на перекачку нефти, которые находятся в прямой зависимости от режима работы станций и применяемых на них методов регулирования.

Для обеспечения НПС необходимой эффективности работы насосы станций следует эксплуатировать только в их рабочей зоне, а из всех возможных методов регулирования применять наиболее экономичный для конкретных условий эксплуатации НПС.

4 СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ «НАСОСЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА» СГУ-НДТ-017-9ЛР

Лабораторные работы по дисциплине «Эксплуатация насосных и компрессорных станций» проводятся в соответствии с данными методическими материалами и руководством по эксплуатации СГУ-НДТ017-9ЛР.00.000 РЭ. Схема стенда СГУ-НДТ-017-9ЛР представлена на рисунке 20, расшифровка условных обозначений приводится в таблице 3.

Конструкция стенда представлена на рисунках 21 и 22.

Таблица 3

Условные обозначения

Обозначение	Наименование
Б1	Бак
ДР1 – ДР3	Дроссель
Н1	Насос центробежный с закрытым колесом
Н2	Насос центробежный с открытым колесом
Н3	Насос вихревой
Т1 – Т3	Трубопровод исследуемый
Р1 – Р3	Расходомер
КР1 – КР7, КР9, КР10	Кран шаровой
КР8	Кран шаровой трехходовой
КР11, КР12	Запорный клапан
КО1, КО2	Клапан обратный
ЗД1, ЗД2	Задвижка клиновья
ДД1 – ДД3	Датчик давления

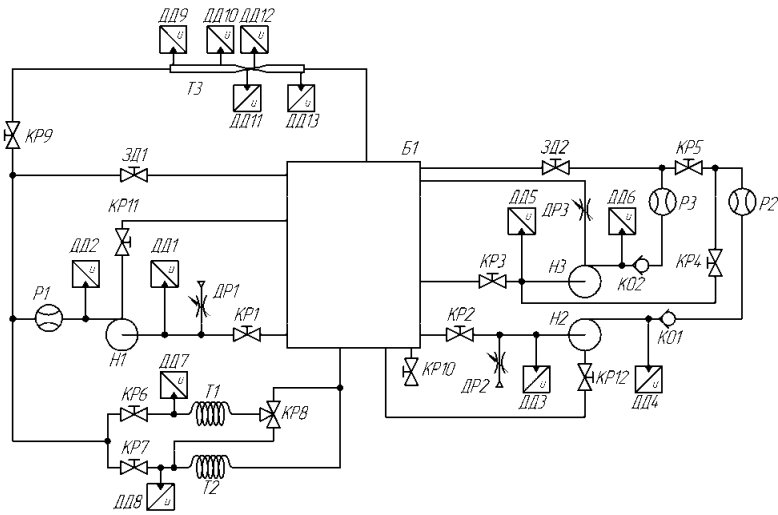


Рис. 20. Схема лабораторного стенда «Насосы динамического типа»

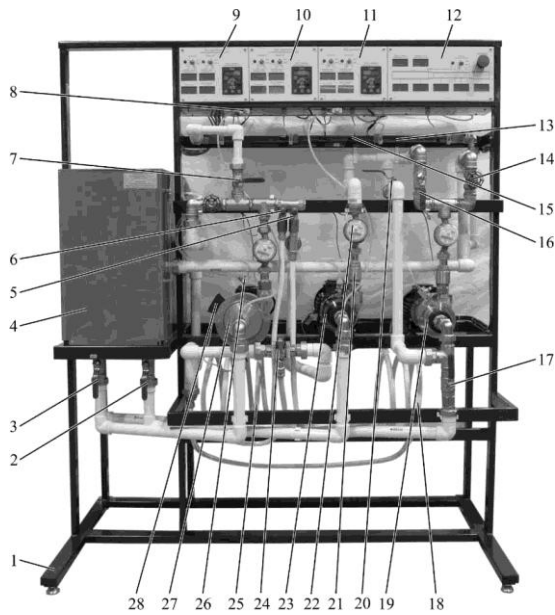


Рис. 21. Конструкция лабораторного стенда «Насосы динамического типа» СГУ-НДТ-017-9ЛР. Вид спереди

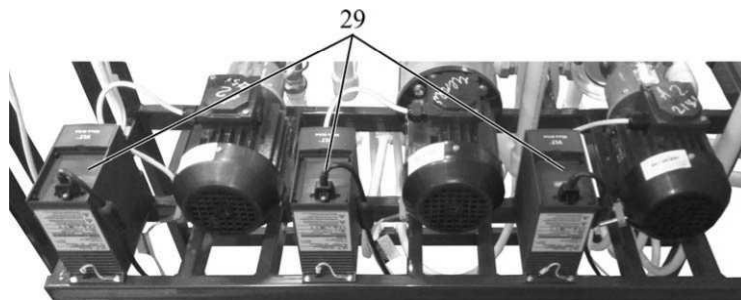


Рис. 22. Конструкция лабораторного стенда «Насосы динамического типа» СГУ-НДТ-017-9ЛР. Вид сзади (фрагмент)

4.1 Состав стенда

В состав стенда входят следующие элементы (номера позиций соответствуют рисункам 21 и 22):

- бак 4 для хранения жидкости, выполненный из непрозрачного материала (слив рабочей жидкости осуществляется через кран, установленный на дне бака);
- центробежный насос с открытым рабочим колесом 23;
- центробежный насос с закрытым рабочим колесом 27;
- вихревой насос 19;
- расходомеры 22, установленные в линии нагнетания насосов;
- краны шаровые 16, 20 позволяющие изменять схему подключения насосов;
- обратные клапаны 21, установленные в линии нагнетания вихревого насоса и центробежного насоса с открытым колесом;
- краны 5, 6, 24, позволяющие изменять схему подключения исследуемых трубопроводов;
- исследуемые трубопроводы 18, 25;
- трубопровод 13 переменного сечения с точками отбора давления для изучения уравнения Бернулли;
- кран 7 для подключения трубопровода переменного сечения к напорной линии насоса;
- дроссели 8, позволяющие подать воздух во всасывающие патрубки насосов;

- краны 26 для выпуска воздуха из насосов;
- краны 2, 3, 17 установленные в линиях всасывания насосов;
- вентили 14 для регулирования сопротивления в линии нагнетания насосов;
- аналоговые датчики давления 15;
- стробоскопы 28;
- панель 9 управления центробежным насосом с закрытым рабочим колесом;
- панель 10 управления центробежным насосом с открытым рабочим колесом;
- панель 11 управления вихревым насосом;
- панель 12 индикации давления в исследуемых трубопроводах;
- датчики частоты вращения вала насоса (закреплены на приводных электродвигателях насосов);
- преобразователи частоты для питания приводных двигателей насосов 29;
- автоматический выключатель (расположен за панелью 12);
- заливная горловина (установлена на крышке бака 4);
- кран для слива рабочей жидкости (закреплен на дне бака 4).

4.2 Описание стенда

Стенд представляет собой рамную конструкцию, на которой установлены три насоса динамического типа (центробежный с открытым рабочим колесом, центробежный с закрытым рабочим колесом, вихревой), бак для хранения жидкости, запорно-регулирующая арматура, измерительные приборы и устройства, исследуемые и соединительные трубопроводы. Стенд предназначен для исследования характеристик насосов и трубопроводов при различных типах соединения, наблюдения за работой динамических насосов различных типов, а также для опытного получения рабочих характеристик динамических насосов.

Рабочая жидкость динамическими насосами Н1, Н2, Н3 нагнетается из бака в систему, подача насосов определяется расходами Р1, Р2, Р3.

Для контроля давления в линиях всасывания и нагнетания насосов установлены датчики давления ДД1 - ДД6. Датчики давления ДД7, ДД8 измеряют давление на входе в исследуемые трубопроводы. Для определения давления в точках отбора трубопровода переменного сечения используются датчики давления ДД9 - ДД13.

Шаровые краны КР1 - КР9 предназначены для изменения схемы подключения насосов и трубопроводов стенда. Трехходовой шаровой кран КР8 позволяет включать исследуемые трубопроводы Т1 и Т2 либо последовательно, либо параллельно. Кран КР10 предназначен для слива жидкости из бака и трубопроводов. Запорные клапаны КР11, КР12 используются для сброса воздуха из рабочей камеры насосов.

Дроссели ДР1 - ДР3 позволяют осуществлять забор воздуха во всасывающие линии насосов для наблюдения за движением частиц в рабочих камерах. В качестве расходомера используется счетчик количества воды с цифровым выходом. Принцип работы и конструкция проточной части счетчика-расходомера с тангенциальной турбиной показана на рисунке 23. Принцип действия расходомера-счетчика основан на измерении скорости вращения потоком жидкости измерительной турбинки. Для бесперебойной работы счетчиков необходимо отсутствие завихрений в потоке, поступающем на турбинку.

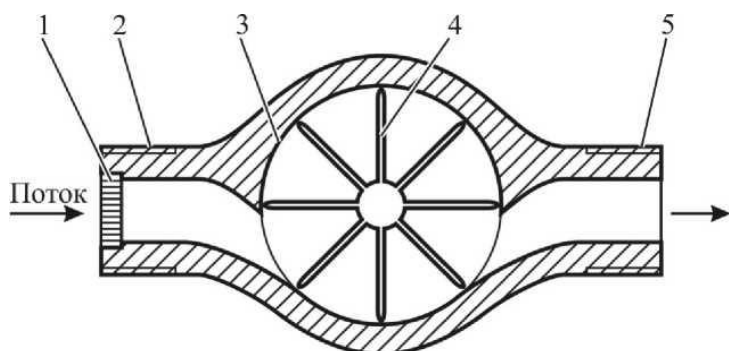


Рис. 23. Проточная часть счетчика – расходомера

Поток жидкости поступает в проточную часть корпуса через входной фильтр 1, выполняющий также функцию выпрямителя потока, размещенный во входном патрубке 2. Далее поток по касательной входит в цилиндрическую полость 3, где размещена турбинка 4, и по касательной выходит в патрубок 5. Таким образом, количество оборотов совершенное турбинкой 4 пропорционально пройденному объему жидкости, а частота вращения - объемному расходу. Корпус проточной части счетчика выполнен из магнитно проницаемого сплава, а на турбинке 4 установлен постоянный магнит. На счетном устройстве расположена вертушка с постоянным магнитом, таким образом, вращение турбинки передается на вертушку за счет взаимодействия двух постоянных магнитов. Далее количество оборотов вертушки фиксируется многозарядным цифровым барабанным счетчиком. Кроме того, в корпусе счетного устройства размещен датчик Холла, позволяющий фиксировать изменение магнитного поля от вращающегося постоянного магнита, что позволяет получать импульсный электрический выход для подсчета оборотов турбинки.

Перед измерением давления (снятием показаний с измерительных индикаторов) следует дождаться окончания переходных процессов, возникающих при изменении перекрытий управляющих задвижек. Таким образом, замеры следует делать по достижении постоянного значения давления на исследуемом участке.

4.3 Меры предосторожности при работе

Обучающиеся к работе со стендом допускаются **после ознакомления с руководством по эксплуатации СГУ-НДТ-017-9ЛР.00.000 РЭ и данными методическими указаниями по выполнению лабораторных работ**. Одновременно к проведению лабораторных работ допускаются не более 2-3 обучающихся под наблюдением преподавателя. Во время работы и транспортировки стенда запрещается прикладывать внешние нагрузки на трубопроводы, измерительные приборы и бак (в т.ч. опираться на них или класть посторонние предметы), запрещена транспортировка стенда при наличии жидкости в баке. Запрещается также сборка-разборка соедине-

ний, их подтяжка при работающих насосах или наличии воды в накопительном баке, трубопроводах и в корпусах насосов.

Перед включением насосов убедиться в том, что:

1. Краны в линиях всасывания насосов открыты.
2. Высота уровня воды в баке Б1 достаточна для нормальной работы (примерно посередине между указателями min и max).
3. Трубопроводы не имеют внешних повреждений.
4. При работе с насосами Н2 и Н3 кран КР9 закрыт.

5 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

5.1 Лабораторная работа №1. Изучение конструкции центробежного насоса с открытым рабочим колесом в прозрачном корпусе и исследование его характеристик при различных частотах вращения

Целью работы является экспериментальное построение характеристик центробежного насоса с открытым рабочим колесом в координатах давление-подача.

5.1.1 Основные теоретические сведения

В центробежном лопастном 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.

На рисунке 24 показана схема центробежного насоса. На вал 1 насажено рабочее колесо 2 с лопастями 3. Корпус насоса со стороны нагнетания включает спиральный отвод, заканчивающийся нагнетательным патрубком 4, к которому крепится напорный трубопровод.

В рабочем колесе насоса частицы жидкости движутся относительно рабочего колеса и, кроме того, они вместе с ним совершают переносное движение. Сумма относительного и переносного движений дает абсолютное движение жидкости, т.е. движение ее относительно неподвижного корпуса насоса. Скорость абсолютного движения V равна геометрической сумме скорости W жидкости относительно рабочего колеса и окружной скорости рабочего колеса U .

Открытое колесо состоит из одного диска и лопаток, находящихся на его поверхности. Такие колеса применяются в насосах с низким напором, для перекачивания загрязненной жидкости. КПД открытых колес обычно не превышает 40%. Открытые колеса характеризуются высокой износостойкостью к абразивным составляющим перекачиваемой среды (песок).

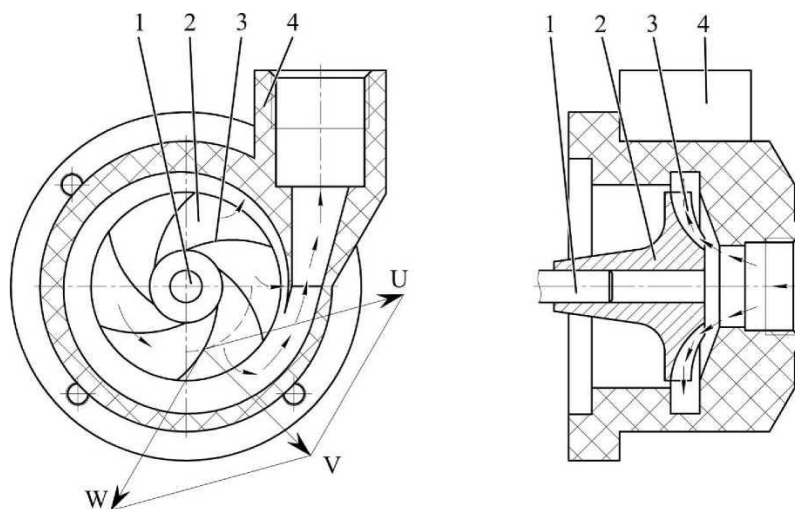


Рис. 24. Схема центробежного насоса с открытым колесом

Для улучшения визуального восприятия работы центробежного насоса с открытым рабочим колесом необходимо включить стробоскоп соответствующим тумблером на панели «Насос центробежный с открытым рабочим колесом (Н2)», открыть дроссель ДР2, поворачивая его регулировочный винт против часовой до появления частиц воздуха в корпусе насоса. Не рекомендуется длительная работа насоса и проведение лабораторных работ при наличии пузырьков воздуха в корпусе. Для сброса воздуха из корпуса насоса необходимо кратковременно открыть запорный клапан КР12.

5.1.2 Экспериментальная часть

1. Открыть краны КР2, КР5 и задвижку ЗД2, остальные краны и задвижки закрыть.
2. Включить питание системы управления.
3. Включить питание насоса Н2 тумблером «Питание ПЧ» на панели «Насос центробежный с открытым рабочим колесом (Н2)».
4. На панели преобразователя частоты нажать кнопку «Hand On».
5. Повернуть потенциометр, расположенный на панели управления преобразователя частоты, по часовой стрелке до упора.

6. Дождаться установившегося значения подачи насоса Н2.
7. Записать в таблицу 4 следующие значения: давление на входе насоса Н2, давление на выходе насоса Н2, подача насоса Н2.
8. Плавно закрывая задвижку ЗД2, установить требуемую (см. таблицу 4) величину давления $p_{\text{вых2}}$ на выходе насоса 2.
9. Записать в таблицу 4 следующие значения: давление на входе насоса Н2, подачу насоса Н2.
10. Повторить действия по п.п. 8, 9 для всех значений давления $p_{\text{вых2}}$, соответствующих таблице 4, вплоть до закрытия ЗД2.
11. Открыть задвижку ЗД2.
12. Повторить действия согласно пунктам 6-11 для частоты 60 Гц, 55 Гц и 50 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты.
13. Выключить питание насоса 2 и системы управления.

5.1.3 Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитать давление, создаваемое насосом

$$p_{\text{Н2}} = p_{\text{вых2}} - p_{\text{вх2}} \quad (5.1)$$

2. Рассчитать энергетические характеристики насос, используя формулы, представленные в разделе 3.

3. По полученным данным построить график зависимости $P_{\text{Н2}} = f(Q_{\text{Н2}})$.

4. Определить характеристику сети.
5. Определить рабочую точку при разных частотах вращения ротора рабочего колеса.
6. Сделать выводы.
7. Оформить отчет в соответствии с требованиями, представленными в разделе 6.

Таблица 4

Экспериментальные данные

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота, Гц	65					
Давление $p_{\text{вых2}}$ на выходе насоса Н2, кПа (изб.)		60	65	70	75	
Давление $p_{\text{вх2}}$ на входе насоса Н2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н2}}$ на насоса Н2, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н2, л/мин						
Частота, Гц	60					
Давление $p_{\text{вых2}}$ на выходе насоса Н2, кПа (изб.)		50	55	60	65	
Давление $p_{\text{вх2}}$ на входе насоса Н2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н2}}$ на насоса Н2, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н2, л/мин						
Частота, Гц	55					
Давление $p_{\text{вых2}}$ на выходе насоса Н2, кПа (изб.)		44	48	52	56	
Давление $p_{\text{вх2}}$ на входе насоса Н2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н2}}$ на насоса Н2, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н2, л/мин						
Частота, Гц	50					
Давление $p_{\text{вых2}}$ на выходе насоса Н2, кПа (изб.)		34	38	42	46	
Давление $p_{\text{вх2}}$ на входе насоса Н2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н2}}$ на насоса Н2, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н2, л/мин						

5.2 Лабораторная работа №2. Изучение конструкции центробежного насоса с закрытым рабочим колесом в прозрачном корпусе. исследование характеристик насоса при различных частотах вращения

Целью работы является экспериментальное построение характеристик центробежного насоса с закрытым рабочим колесом в координатах подача-напор, подача-мощность.

5.2.1 Основные теоретические сведения

В центробежном лопастном 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.

На рисунке 25 показана схема центробежного насоса с закрытым рабочим колесом. На вал 1 насажено рабочее колесо 2 с лопастями 3. Корпус насоса со стороны нагнетания включает спиральный отвод, заканчивающийся нагнетательным патрубком 4, к которому крепится напорный трубопровод.

В рабочем колесе насоса частицы жидкости движутся относительно рабочего колеса и, кроме того, они вместе с ним совершают переносное движение. Сумма относительного и переносного движений дает абсолютное движение жидкости, т.е. движение ее относительно неподвижного корпуса насоса. Скорость абсолютного движения V равна геометрической сумме скорости W жидкости относительно рабочего колеса и окружной скорости рабочего колеса U .

Закрытое колесо состоит из двух дисков, между которыми расположены лопатки. Такие колеса позволяют обеспечить высокий напор, и минимизировать утечки жидкости из напорного канала во всасывающий.

Для улучшения визуального восприятия работы центробежного насоса с закрытым рабочим колесом необходимо включить стробоскоп соответствующим тумблером на панели «Насос центро-

бежный с закрытым рабочим колесом (Н1)», открыть дроссель ДР1 поворачивая его регулировочный винт против часовой до появления частиц воздуха в корпусе насоса. Не рекомендуется длительная работа насоса и проведение лабораторных работ при наличии пузырьков воздуха в корпусе. Для сброса воздуха из корпуса насоса необходимо кратковременно открыть запорный клапан КР11

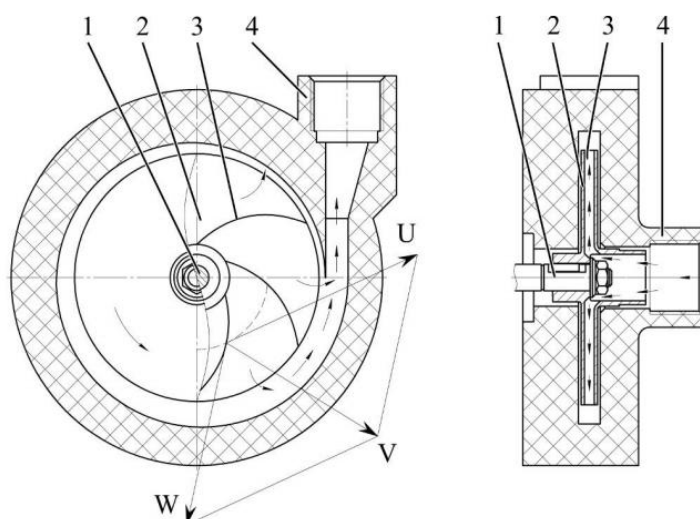


Рис. 25. Схема центробежного насоса с закрытым рабочим колесом

5.2.2 Экспериментальная часть

1. Открыть кран КР1 и задвижку ЗД1, остальные краны и задвижки закрыть.
2. Включить питание системы управления.
3. Включить питание насоса Н1 тумблером «Питание ПЧ» на панели «Насос центробежный с закрытым рабочим колесом (Н1)».
4. На панели преобразователя частоты нажать кнопку «Hand On».
5. Повернуть потенциометр, расположенный на панели управления преобразователя частоты, по часовой стрелке до упора.
6. Дождаться установившегося значения подачи насоса Н1.

7. Записать в таблицу 5 следующие значения: давление на входе насоса Н1, давление на выходе насоса Н1, подача насоса Н1.
8. Плавно закрывая задвижку ЗД1, установить требуемую (см. таблицу 5) величину давления $p_{\text{вых1}}$ на выходе насоса 1.
9. Записать в таблицу 5 следующие значения: давление на входе насоса Н1, подачу насоса Н1.
10. Повторить действия по п.п. 8, 9 для всех значений давления $p_{\text{вых1}}$, соответствующих таблице 5, вплоть до закрытия ЗД1.
11. Открыть задвижку ЗД1.
12. Повторить действия согласно пунктам 6 - 11 для частоты 45 Гц, 40 Гц и 35 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты.
13. Выключить питание насоса 1 и системы управления.

5.2.3 Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитать давление создаваемое насосом по формуле (5.1)
2. По полученным данным построить график зависимости $H_{Н1} = f(Q_{Н1})$, $N_{Н1} = f(Q_{Н1})$
3. Определить характеристику сети, после чего определить рабочую точку при разных частотах вращения ротора рабочего колеса
4. Сделать выводы.

Экспериментальные данные

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота, Гц	50					
Давление $p_{\text{вых1}}$ на выходе насоса Н1, кПа (изб.)		85	115	145	175	
Давление $p_{\text{вх1}}$ на входе насоса Н1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н1}}$ на насоса Н1, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н1, л/мин						
Частота, Гц	45					
Давление $p_{\text{вых1}}$ на выходе насоса Н1, кПа (изб.)		75	95	115	135	
Давление $p_{\text{вх1}}$ на входе насоса Н1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н1}}$ на насоса Н1, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н1, л/мин						
Частота, Гц	40					
Давление $p_{\text{вых1}}$ на выходе насоса Н1, кПа (изб.)		55	70	85	100	
Давление $p_{\text{вх1}}$ на входе насоса Н1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н1}}$ на насоса Н1, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н1, л/мин						
Частота, Гц	35					
Давление $p_{\text{вых1}}$ на выходе насоса Н1, кПа (изб.)		52	64	76	88	
Давление $p_{\text{вх1}}$ на входе насоса Н1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{Н1}}$ на насоса Н1, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса Н1, л/мин						

5.3 Лабораторная работа №3. Изучение конструкции вихревого насоса в прозрачном корпусе. исследование характеристик насоса при различных частотах вращения

Целью работы является экспериментальное построение характеристик вихревого насоса в координатах подача-напор, подача-мощность, подача-кпд.

5.3.1 Основные теоретические сведения

Динамический насос трения, в котором жидкость перемещается по периферии рабочего колеса в тангенциальном направлении, называется вихревым.

Основными элементами вихревого насоса являются (рисунок 26): колесо 1 с радиальными лопатками, корпус 2 со всасывающим 6 и напорным патрубками 4, разделенными перемычкой 5, и с концентричным каналом 3. Рабочее колесо помещено в корпусе с минимальными зазорами на торцах в месте расположения перемычки 5.

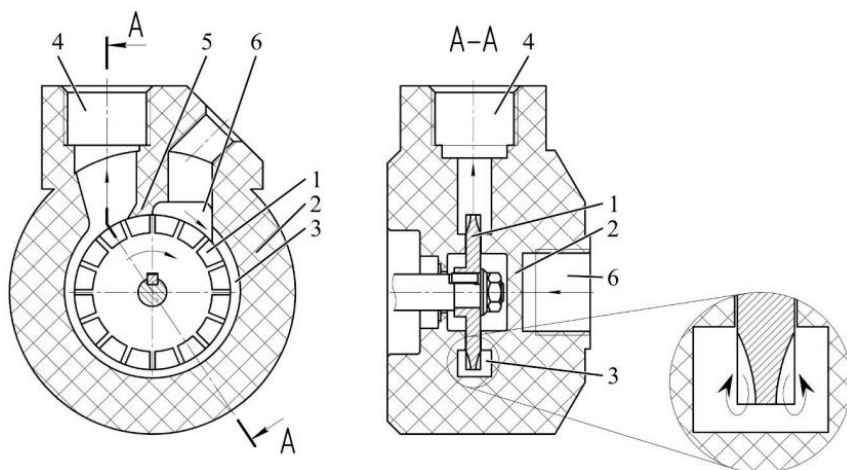


Рис. 26. Схема вихревого насоса

В процессе работы вихревого насоса лопатки, выполненные на рабочем колесе, захватывают жидкость из бокового пространства и отбрасывают ее с периферии колеса. Вследствие этого во вра-

шающемся колесе с двухсторонним расположением ячеек и в окружающем колесо канале образуется пара продольных вихрей. Это приводит к непрерывному обмену частицами жидкости между ячейками и каналом, в процессе которого и происходит передача энергии от колеса к жидкости.

Для улучшения визуального восприятия работы вихревого насоса необходимо включить стробоскоп соответствующим тумблером на панели «Насос вихревой (НЗ)», открыть дроссель ДРЗ поворачивая его регулировочный винт против часовой до появления частиц воздуха в корпусе насоса. Не рекомендуется длительная работа насоса и проведение лабораторных работ при наличии пузырьков воздуха в корпусе.

5.3.2 Экспериментальная часть

1. Открыть кран КРЗ и задвижку ЗД2, остальные краны и задвижки закрыть.
2. Включить питание системы управления.
3. Включить питание насоса НЗ тумблером «Питание ПЧ» на панели «Насос вихревой (НЗ)».
4. На панели преобразователя частоты нажать кнопку «HandOn».
5. Повернуть потенциометр, расположенный на панели управления преобразователя частоты, по часовой стрелке до упора.
6. Дождаться установившегося значения подачи насоса НЗ.
7. Записать в таблицу 6 следующие значения: давление на входе насоса НЗ, давление на выходе насоса НЗ, подача насоса НЗ.
8. Плавно закрывая задвижку ЗД3, установить требуемую (см. таблицу 6) величину давления $p_{\text{вых3}}$ на выходе насоса 3.
9. Записать в таблицу 6 следующие значения: давление на входе насоса НЗ, подача насоса НЗ.

Таблица 6

Экспериментальные данные

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота, Гц	65					
Давление $p_{\text{вых3}}$ на выходе насоса НЗ, кПа (изб.)		85	145	205	265	
Давление $p_{\text{вх3}}$ на входе насоса НЗ, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{НЗ}}$ насоса НЗ, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса НЗ, л/мин						
Частота, Гц	60					
Давление $p_{\text{вых3}}$ на выходе насоса НЗ, кПа (изб.)		80	130	180	230	
Давление $p_{\text{вх3}}$ на входе насоса НЗ, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{НЗ}}$ насоса НЗ, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса НЗ, л/мин						
Частота, Гц	55					
Давление $p_{\text{вых3}}$ на выходе насоса НЗ, кПа (изб.)		70	115	160	205	
Давление $p_{\text{вх3}}$ на входе насоса НЗ, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{НЗ}}$ насоса НЗ, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса НЗ, л/мин						
Частота, Гц	50					
Давление $p_{\text{вых3}}$ на выходе насоса НЗ, кПа (изб.)		55	95	135	175	
Давление $p_{\text{вх3}}$ на входе насоса НЗ, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{\text{НЗ}}$ насоса НЗ, кПа						
Подача $Q_{\text{Н}}$ насоса НЗ, л/мин						

10. Повторить действия по п.п. 8, 9 для всех значений давления $p_{\text{вых3}}$, соответствующих таблице 6, вплоть до закрытия ЗД2.

11. Открыть задвижку ЗД2.

12. Повторить действия согласно пунктам 6 - 11 для частоты 60 Гц, 55 Гц и 50 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты.

13. Выключить питание насоса 3 и системы управления.

5.3.3 Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитать давление создаваемое насосом по формуле (5.1)

2. По полученным данным построить график зависимости $H_{\text{Н1}} = f(Q_{\text{Н1}})$, $N_{\text{Н1}} = f(Q_{\text{Н1}})$, $\eta_{\text{Н1}} = f(Q_{\text{Н1}})$

3. Определить характеристику сети, после чего определить рабочую точку при разных частотах

4. Сделать выводы.

5.4 Лабораторная работа №4. Исследование характеристик двух параллельно соединенных насосов

Целью работы является экспериментальное построение характеристики совместной работы параллельно соединенных насосов Н2 и Н3 в координатах давление-подача.

Часть 1. При исследовании характеристик двух параллельно соединенных насосов необходимо предварительно определить потери давления на напорных участках трубопровода.

1. Открыть краны КР2, КР3, КР5 и задвижку ЗД2. Остальные краны и задвижки должны быть закрыты.

2. Включить питание системы управления.

3. Включить тумблерами «Питание ПЧ» на панелях «Насос центробежный с открытым рабочим колесом (Н2)» и «Насос вихревой (Н3)» питание преобразователей частоты. На панелях преобразователей частоты нажать кнопку «HandOn».

4. Потенциометром на панели управления преобразователя частоты насоса Н3 добиться минимального течения жидкости через расходомер Р3. Вращением потенциометра на панели управления преобразователя частоты насоса Н2 настроить расход на 10 л/мин. Если требуется, добиться минимального течения жидкости через

расходомер РЗ. Записать в таблицу 7 значение расхода через насос Н2, а также величину давления на выходе насосов Н2 и Н3.

5. Вращением потенциометра на панели управления преобразователя частоты насоса Н2 увеличить расход на 6 л/мин. Вращением потенциометра на панели управления преобразователя частоты насоса Н3 добиться минимального течения жидкости через расходомер РЗ

6. Записать показания приборов в таблицу 7.

7. Повторить действия согласно п.п. 5, 6 до максимального расхода.

8. Повернуть потенциометры на панелях управления преобразователей частоты против часовой стрелки до упора.

9. Потенциометром на панели управления преобразователя частоты насоса Н2 добиться минимального течения жидкости через расходомер Р2. Вращением потенциометра на панели управления преобразователя частоты насоса Н3 настроить расход на 10 л/мин. Если требуется, добиться минимального течения жидкости через расходомер Р2. Записать в таблицу 8 значение расхода через насос Н3, а также величину давления на выходе насосов Н2 и Н3.

10. Вращением потенциометра на панели управления преобразователя частоты насоса Н3 увеличить расход на 4 л/мин. Вращением потенциометра на панели управления преобразователя частоты насоса Н2 добиться минимального течения жидкости через расходомер Р2.

11. Записать показания приборов в таблицу 8.

12. Повторить действия согласно п.п. 10, 11 до максимального расхода.

13. Повернуть потенциометры на панелях управления преобразователей частоты против часовой стрелки до упора.

14. Выключить насосы Н2 и Н3.

15. Выключить питание системы управления.

16. При расчете потерь давления на напорных участках трубопровода необходимо учесть давление столба жидкости. Таким образом перепад давления на участке от точки отбора давления на выходе насоса до выхода из расходомера составит 2 кПа (высота столба 20 см). Данное значение необходимо вычесть из давления на выходе

насоса с настраиваемой минимальной подачей для получения давления в точке объединения напорных трубопроводов.

17. Определить потери давления на напорных участках трубопровода: $\Delta p_{Нтр2} = p_{вых2} - p_{вых3} - 2$ кПа для насоса Н2 и $\Delta p_{Нтр3} = p_{вых3} - p_{вых2} - 2$ кПа для насоса Н3.

18. Построить график зависимости $\Delta p_{Нтр2} = f(Q_{Н2})$ и $\Delta p_{Нтр3} = f(Q_{Н3})$.

Таблица 7

Экспериментальные данные

Потери давления на напорном трубопроводе Н2							
Расход $Q_{Н2}$, л/мин	10						
Давление $p_{вых2}$, кПа (изб.)							
Давление $p_{вых3}$, кПа (изб.)							
Давление $\Delta p_{Нтр2}$, кПа (изб.)							

Таблица 8

Экспериментальные данные

Потери давления на напорном трубопроводе Н3							
Расход $Q_{Н3}$, л/мин	10						
Давление $p_{вых3}$, кПа (изб.)							
Давление $p_{вых2}$, кПа (изб.)							
Давление $\Delta p_{Нтр3}$, кПа (изб.)							

Часть 2.

1. Для получения характеристики двух параллельно соединенных насосов можно использовать графический метод. Используя график зависимости $P_{Hi} = f(Q_{Hi})$ (см. лабораторные работы №1, №3) с учетом поправки на потери давления на напорном трубопроводе, графическим суммированием получаем график зависимости $P_{НС} = f(Q_{Н2} + Q_{Н3})$. Пример характеристики при параллельной работе насосов приведен на рисунке 27.

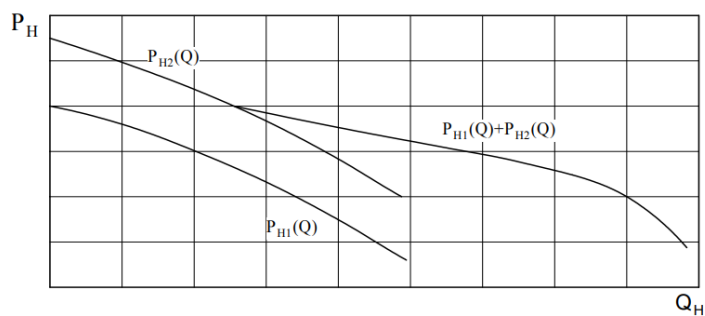


Рис. 27. Пример характеристики при параллельной работе насосов

2. Открыть краны КР2, КР3, КР5 и задвижку ЗД2, остальные краны и задвижки закрыть.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить тумблерами «Питание ПЧ» на панелях «Насос центробежный с открытым рабочим колесом (Н2)» и «Насос вихревой (Н3)» питание преобразователей частоты. На панелях преобразователей частоты нажать кнопку «HandOn».
5. Повернуть потенциометры, расположенные на панелях управления преобразователей частоты, по часовой стрелке до упора.
6. Записать в таблицу 9 показания приборов: давление нагнетания насосов – $r_{\text{вых}2}$ и $r_{\text{вых}3}$; подачу насосов – $Q_{\text{Н}2}$ и $Q_{\text{Н}3}$.

Таблица 9

Экспериментальные данные

Параметр	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Давление $r_{\text{вых}2}$, кПа (изб.)							
Давление $\Delta r_{\text{Нтр}2}$, кПа (изб.)							
Подача $Q_{\text{Н}2}$, л/мин							
Давление $r_{\text{вых}3}$, кПа (изб.)							
Давление $\Delta r_{\text{Нтр}3}$, кПа (изб.)							
Подача $Q_{\text{Н}3}$, л/мин							
Суммарная подача $Q_{\text{НС}}$, л/мин							
Давление в тройникер _{тр} , кПа (изб.)							

7. Плавной поворачивая рукоятку задвижки ЗД2, увеличить сопротивление (давление) на выходе насосов на 5-15 кПа.
8. Записать показания приборов в таблицу 9.
9. Повторить действия согласно п.п. 7, 8 до полного закрытия задвижки ЗД2.
10. Открыть задвижку ЗД2.
11. Выключить насосы Н2 и Н3.
12. Выключить питание системы управления.
13. Используя данные, полученные в части 1 лабораторной работы №4, определить потери давления на напорных участках трубопровода при данных значения расхода. Записать в таблицу 9.
14. Определить давление в точке объединения напорных трубопроводов исследуемых насосов: $p_{тр} = p_{Н3} - \Delta p_{Нтр3}$.
15. Построить графики зависимостей $p_{Нтр2} = f(Q_{Н2})$ и $p_{Нтр3} = f(Q_{Н3})$, где $p_{Нтр2} = p_{вых2} - \Delta p_{Нтр2}$ и $p_{Нтр3} = p_{вых3} - \Delta p_{Нтр3}$.
16. Построить график зависимости $p_{тр} = f(Q_{НС})$. Получить график зависимости $P_{НС} = f(Q_{Н2} + Q_{Н3})$ путем графического суммирования характеристик $p_{Нтр2} = f(Q_{Н2})$ и $p_{Нтр3} = f(Q_{Н3})$. Сделать выводы.

5.5 Лабораторная работа №5. Исследование характеристик последовательно соединенных насосов

Целью работы является экспериментальное построение характеристики совместной работы последовательно соединенных насосов Н2 и Н3 в координатах давление-подача.

1. Для получения характеристики двух последовательно соединенных насосов можно использовать графический метод. Используя график зависимости $P_{Hi} = f(Q_{Hi})$ (см. лабораторные работы №1, №3) с поправками на потери давления на напорном участке трубопровода насоса Н2, графическим суммированием получаем график зависимости $P_{НС}(Q) = P_{Н2} + P_{Н3}$. Пример характеристики при последовательной работе насосов приведен на рисунке 28.

2. Открыть краны КР2, КР4 и задвижку ЗД2, остальные краны и задвижки закрыть.

3. Включить питание системы управления.

4. Включить тумблерами «Питание ПЧ» на панелях «Насос центробежный с открытым рабочим колесом (Н2)» и «Насос вихре-

вой (НЗ)» питание преобразователей частоты. На панелях преобразователей частоты нажать кнопку «HandOn».

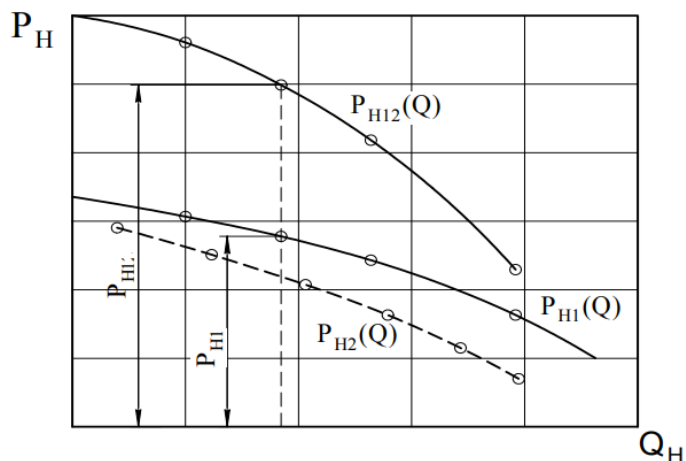


Рис. 28. Пример характеристики последовательной работы насосов

5. Повернуть потенциометры, расположенные на панелях управления преобразователей частоты, по часовой стрелке до упора.

6. Плавно поворачивая рукоятку задвижки ЗД2 по часовой стрелке, установить значение расхода насоса НЗ в 30 л/мин.

7. Записать показания приборов в таблицу 10: давление нагнетания насосов – $p_{\text{вых2}}$ и $p_{\text{вых3}}$; давление всасывания насоса НЗ $p_{\text{вх3}}$; подачу насосов – Q_{H2} и Q_{H3} .

8. Плавно поворачивая рукоятку задвижки ЗД2, увеличить сопротивление (давление) на выходе насоса НЗ на 20-30 кПа.

9. Записать показания приборов в таблицу 10.

10. Повторить действия согласно п.п. 8, 9 до полного закрытия задвижки ЗД2.

11. Открыть задвижку ЗД2.

12. Выключить насосы Н2 и Н3.

13. Выключить питание системы управления.

14. Построить график зависимости $p_{H3} = f(Q_{H3})$, где $p_{H3} = p_{\text{вых3}} - p_{\text{вх3}} = p_{H3}$.

Экспериментальные данные

Параметр	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Давление $p_{\text{вых}2}$, кПа (изб.)							
Подача $Q_{\text{H}2}$, л/мин							
Давление $p_{\text{вых}3}$, кПа (изб.)							
Давление $p_{\text{вх}3}$, кПа (изб.)							
Подача $Q_{\text{H}3}$, л/мин							

15. Построить график зависимости $\Delta p_{\text{Hтр}2_2} = f(Q_{\text{H}2})$, где $\Delta p_{\text{Hтр}2_2} = p_{\text{вых}2} - p_{\text{вх}3}$.

16. Используя данные из лабораторных работ №1, 3 графическим суммированием получить график зависимости $P_{\text{НС}}(Q) = P_{\text{H}2} + P_{\text{H}3} - \Delta p_{\text{Hтр}2_2}$. Сделать выводы.

6 ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

6.1 Структура отчета по лабораторной работе:

1. Титульный лист;
2. Цель работы.
3. Основные теоретические сведения;
4. Исходные данные для выполнения практической работы;
5. Раздел «Обработка экспериментальных данных» с указанием формул и примером расчета (в цифрах).
6. Выводы по зависимостям или формулам.
7. При необходимости графическая обработка данных в виде гистограмм и графиков зависимостей.
8. Выводы по практической работе в соответствии с целью работы.

6.2 Оформление отчета по практической работе:

1. Отчет оформляется в виде машинописного текста *Times New Roman*, размер шрифта - **12** или **14 кегль**, межстрочный интервал – **1,0** или **1,5**. Для начала нового абзаца используется автоматический отступ (1,25 см). Между абзацами не должно быть интервалов и отступов.

2. **Поля:** левое – 3 см, правое - 1,5 см, верхнее, нижнее – по 2 см. Текст должен быть отформатирован *по ширине* листа.

3. Заголовки и подзаголовки в тексте выделяются *полужирным* и располагаются *по центру*.

4. **Страницы нумеруются.** Нумерация страниц проставляется, начиная со 2 страницы. Титульная страница *не нумеруется*, но учитывается. Используется сквозная нумерация страниц отчета по лабораторной работе.

6.3 Правила оформления

1. Титульный лист выполняется по общим требованиям. Номер страницы на титульном листе не ставится. Отчет по практической работе выполняется на одной стороне листа формата А4 по требованиям, перечисленным выше. Номера страниц внизу в центре.

2. Правила оформления расчетных формул.

Расчетная формула записывается в буквенном выражении, после чего приводится расшифровка буквенных символов, числовых коэффициентов и их значения в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Расшифровка каждого символа приводится с новой строки. Приведенные в отчете формулы должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами. Порядковый номер формул должен быть приведен справа от формулы в скобках.

Пример записи расчетных формул:

$$H = \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} + z, \quad (6.1)$$

где H - напор насоса, м;

U – средняя скорость, м/с;

z – высотная отметка центра рассматриваемого сечения, м.

3. Правила оформления таблиц.

Каждая таблица должна иметь заголовок. Заголовок и слово таблица начинают с прописной буквы. Таблицы нумеруются последовательно арабскими цифрами. В правом верхнем углу таблицы под заголовком помещается надпись «Таблица» с указанием порядкового номера. Название таблицы оформляется шрифтом *Times New Roman*, размер шрифта - **10 кегль**, межстрочный интервал – **1,0**,

подпись таблицы – по правому краю. Заголовки столбцов в таблице, текст и цифры в ячейках – выравнивание по центру, шрифт **Times New Roman**, размер шрифта – **12 кегль**. Высота строк не менее 8 мм.

Пример оформления таблиц:

Таблица 11

Требования к начальной величине сопротивления растеканию тока для различных условий применения анодных заземлений

Грунт	ρ грунта, Ом·м	R , анодного заземления, Ом
Солончаки	Менее 10	0,5
Болота, влажные глины, суглинки	От 10 до 50	1,0

4. Правила оформления иллюстраций.

Каждая иллюстрация подписывается словом «Рисунок» и нумеруется последовательно арабскими цифрами в пределах всего отчета. Название иллюстрации оформляется шрифтом **Times New Roman**, размер шрифта - **10 кегль**, межстрочный интервал – **1,0**, выравнивание – по центру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильев Г.Г.* Трубопроводный транспорт нефти. Под ред. СМ. Вайнштока: Учебник для вузов в 2 т. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002, Т.1, 407 с.
2. ГОСТ 21.508-93 СПДС. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. -М.: Издательство стандартов, 1994, 30 с.
3. *Дмитриева Т.В.* Составление генеральных планов нефтеперекачивающих и компрессорных станции:Методические указания/ Т.В.Дмитриева, Р.А.Фазлетдинов, М.А.Иляева– Уфа: УГНТУ, 2007, 25 с.
4. *Козаченко А.Н.* Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов.- М: Нефть и газ, 1999, 463 с.
5. ОНТП 51-1 - 85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Ч. 1. Газопроводы. - М.: ВНИИЭгазпром, 1985, 219 с.
6. ОТТ-16.01-74.20. П-КТН-059-1-05. Типовые технические решения по проектированию. Книга 1.2. Нефтеперекачивающие станции с резервуарным парком в системе магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть». –М: 2005, 142 с.
7. РД-91.020.00-КТН-335-06. Нормы проектирования нефтеперекачивающей станции ОАО «АК «Транснефть».- М.: 2006, 194 с.
8. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Зарегистр. Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 36.13330.2011 «СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы».
9. СНиП 2.11.03 - 93. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы / Госстрой России. - М.: ГУЛ ЦПП, 1993, 21 с.
10. СНиП П-89 - 80*. Генеральные планы промышленных предприятий/ Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП,1994, 33 с.
11. Условные обозначения генеральных планов объектов системы магистральных нефтепроводов ОАО «АК «Транснефть». - М., 2004.
12. *Шаммазов А.М.* Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций: Учебник для вузов. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003, 404 с.
13. ГОСТ 1510 - 76 «Нефть и нефтепродукты» установлены области применения различных резервуаров в зависимости от наименования классов, типов и групп нефтей.
14. *Вишневская Н.С.* Резервуары и резервуарные парки. Практические занятия: метод. указания / Н.С. Вишневская, Е.Е Яворская, Е.В. Исупова. – Ухта: УГТУ, 2014. – 55 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Общие положения.....	3
2. Магистральные и подпорные насосы	10
3 Основные энергетические и эксплуатационные показатели работы насосов.....	18
4 Схема лабораторной установки «насосы динамического типа» сгу-ндт-017-9лр.....	25
5 Методика выполнения лабораторных работ.....	35
6 Требования к содержанию и оформлению отчетов по практическим работам.....	53

ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

Сост.: *С.А. Иваник, А.А. Лягова, А.В. Шалыгин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
транспорта и хранения нефти и газа

Ответственный за выпуск *С.А. Иваник*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 26.05.2022. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,1. Усл.кр.-отт. 3,1. Уч.-изд.л. 2,8. Тираж 50 экз. Заказ 319.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2