

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.04 НАСОСЫ И КОМПРЕССОРЫ

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Профиль подготовки (специализация) 21.04.01.01 Трубопроводный инжиниринг

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
доцент, канд. техн. наук Петров Олег Николаевич

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Изучение студентами номенклатуры, конструктивных элементов и принципа работы насосов и компрессоров, развитие у студентов навыков выбора насосно-силового и газоперекачивающего оборудования и технологий эффективного и безопасного транспортирования продуктов нефтегазовой промышленности.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

1) Ознакомить студентов с номенклатурой, конструктивными элементами и принципами работы насосов и компрессоров.

2) Научить студентов применять полученные знания при проектировании транспортных систем.

3) Развить в студентах практические навыки расчетов параметров трубопроводных систем и выбора перекачивающего оборудования и технологий эффективного безопасного транспортирования продуктов нефтегазовой промышленности по полученным результатам.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-5 Способен анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли	
ПК-5.1 Анализирует и определяет преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования	знать преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования; уметь проводить анализ условий работы технологического оборудования при транспортировке агрессивных сред; владеть навыками выбора технологического оборудования.
ПК-7 Способен обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли	
ПК-7.1 Использует правила эксплуатации технологического оборудования, конструкций, объектов, машин, механизмов нефтегазового производства в профессиональной деятельности	знать конструкции и принципы работы насосов и компрессоров различного типа; уметь производить расчеты режимов работы насосов и компрессоров; владеть навыками подбора и управления режимами работы насосно-компрессорного оборудования для обеспечения технологических процессов трубопроводного транспорта.

1.4 Особенности реализации дисциплины.

URL-адрес и название электронного обучающего курса

<https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=22161>

Дисциплина реализуется с применением ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		1
Общая трудоемкость дисциплины	3 (108)	3 (108)
Контактная работа с преподавателем:	0,8 (30)	0,8 (30)
занятия лекционного типа	0,4 (14)	0,4 (14)
практические занятия	0,4 (16)	0,4 (16)
Самостоятельная работа обучающихся	1,2 (42)	1,2 (42)
Вид промежуточной аттестации (Экзамен)	36	Экзамен

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Модуль 1 Общие сведения о гидравлических машинах					
1.	Лек	Лекция 1 Термины и определения	0,5	1	
2.	Лек	Лекция 2 Классификация машин по принципу действия	0,5	1	
3.	Лек	Лекция 3 Характеристики гидравлических машин	1	1	
4.	Лек	Лекция 4 Применение гидравлических машин в нефтегазовой отрасли	1	1	
5.	Пр	Задача №1 "Определение характеристик насосов"	1	1	1
6.	Пр	Задача №2 "Определение рабочего диапазона"	1	1	1
7.	Пр	Задача №3 "Определение рабочей точки"	1	1	1
8.	Пр	Задача №4 "Пересчет характеристик насосов типа ЦНС с воды на нефть"	1	1	1
9.	Пр	Задача №5 "Пересчет характеристик насосов типа НМ с воды на нефть"	1	1	1
10.	Ср	Самостоятельная работа	20	1	20
Раздел 2. Модуль 2 Центробежные машины: конструкция, принцип работы, маркировка и применение					
1.	Лек	Лекция 5 Одноступенчатые центробежные насосы с односторонним входом жидкости в рабочее колесо	1	1	
2.	Лек	Лекция 6 Многоступенчатые центробежные насосы с односторонним входом жидкости в рабочее колесо	1	1	
3.	Лек	Лекция 7 Одноступенчатые центробежные насосы с двухсторонним входом жидкости в рабочее колесо	1	1	
4.	Лек	Лекция 8 Центробежные нагнетатели газа	1	1	
5.	Пр	Задача №6 "Последовательное соединение насосов"	1	1	1
6.	Пр	Задача №7 "Последовательное соединение насосов"	1	1	1
7.	Пр	Задача №8 "Подбор насосно-силового оборудования НПС"	1	1	1
8.	Пр	Задача 9 "Подбор насосно-силового оборудования наливных станций"	1	1	1
9.	Ср	Самостоятельная работа	8	1	8
Раздел 3. Модуль 3 Поршневые и плунжерные машины: конструкция, принцип работы, маркировка и применение					
1.	Лек	Лекция 9 Поршневой насос простого действия	0,5	1	
2.	Лек	Лекция 10 Поршневой насос двойного действия	0,5	1	
3.	Лек	Лекция 11 Одноступенчатые поршневые компрессоры	0,5	1	
4.	Лек	Лекция 12 Многоступенчатые поршневые компрессоры	0,5	1	
5.	Пр	Задача 10 "Определение свойств природных газов"	1	1	1
6.	Ср	Самостоятельная работа	4	1	4
Раздел 4. Модуль 4 Гидравлические машины других типов: конструкция, принцип работы, маркировка и применение					
1.	Лек	Лекция 13 Вихревые и струйные насосы	0,25	1	

2.	Лек	Лекция 14 Диафрагмовые (вибрационные) насосы и компрессоры	0,25	1	
3.	Лек	Лекция 15 Винтовые и ротационные насосы и компрессоры	0,5	1	
4.	Пр	Задача 11 «Подбор основного оборудования КС»	2	1	2
5.	Пр	Задача 12 «Расчет режимов работы КС»	4	1	4
Раздел 5. Модуль 5 Насосные и газокompрессорные станции. Компонировка. Нормальный пуск и останов. Системы блокировки					
1.	Лек	Лекция 16 Блок «Насосная станция» РТСИМ	1	1	
2.	Лек	Лекция 17 Блок «Газокompрессорная станция поршневого типа» РТСИМ	2	1	
3.	Лек	Лекция 18 Блок «Газокompрессорная станция центробежного типа» РТСИМ	1	1	
4.	Ср	Самостоятельная работа	6	1	6
5.	РГР	Расчетно-графическая работа	4	1	4
6.	Экзамен	Экзамен	36	1	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Коршак А.А., Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебник для вузов по направлению подготовки бакалавриата "Нефтегазовое дело". - Ростов-на-Дону: Феникс, 2016. - 541 с..

2. Коршак А. А. Компрессорные станции магистральных газопроводов: учебное пособие для вузов по направлению подготовки бакалавриата "Нефтегазовое дело". - Ростов-на-Дону: Феникс, 2016. - 158 с..

3. Петров Насосные и компрессорные установки и станции [Электронный ресурс]: [учеб.-метод. комплекс для 23.03.03.07 Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (трубопроводный транспорт нефти и газа)]. - Красноярск: СФУ, 2017. - – Режим доступа: <https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=9466> .

4. Лурье М. В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: учебное пособие для вузов по специальности "Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ" направления "Нефтегазовое дело". - Москва: ЛитНефтегаз, 2004. - 350 с..

5. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс]:. - Москва: ООО «ИД Альянс», 2009. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b35/i-967988.pdf> .

6. Иванов В. Г. Центробежные насосы средней быстроходности: учебное пособие. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 1999. - 208 с..

7. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для вузов. - Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2002. - 655 с – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u62/i-255061.pdf> .

8. Шаммазов А. М., Александров В. Н., Гольянов А. И. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций: учебник для вузов. - Москва: Недра, 2003. - 403 с..

9. Лурье М. В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие для вузов. - Москва: ЦентрЛитНефтеГаз, 2004. - 350 с..

10. Петров О.Н Насосные и компрессорные установки и станции [Электронный ресурс]: [учеб.-метод. материалы к изучению дисциплины для ...23.03.03.07 Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (Трубопроводный транспорт нефти и газа),]. - Красноярск: СФУ, 2017. - – Режим доступа: <https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=9466> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

1) учебные аудитории для проведения учебных занятий по дисциплине, оснащенные специализированной мебелью (аудиторные столы и стулья; аудиторная доска) и техническими средствами обучения (проектор, экран для проектора, ноутбук с подключением к сети Интернет (неограниченный доступ) и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета;

2) помещение для самостоятельной работы, оснащенные специализированной мебелью (аудиторные столы и стулья; аудиторная доска) и техническими средствами (12 компьютеров, интерфейс с подключением к сети Интернет (неограниченный доступ) и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета).

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю) Б1.В.04 Насосы и компрессоры

Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело

Направленность (профиль) 21.04.01.01 Трубопроводный инжиниринг

1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства
ПК-5: Способен анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли			
1	ПК-5.1: Анализирует и определяет преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования	Знать преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования	Разноуровневые задания и задачи. Расчетно-графическая работа Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации
		Уметь проводить анализ условий работы технологического оборудования при транспортировке агрессивных сред	Разноуровневые задания и задачи. Вопросы для защиты разноуровневых заданий и задач Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации
		Владеть навыками выбора технологического оборудования	Разноуровневые задания и задачи. Вопросы для защиты разноуровневых заданий и задач Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации
ПК-7: Способен обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли			
1	ПК-7.1: Использует правила эксплуатации технологического оборудования, конструкций, объектов, машин, механизмов нефтегазового производства в профессиональной	Знать конструкции и принципы работы насосов и компрессоров различного типа	Разноуровневые задания и задачи. Вопросы для защиты разноуровневых заданий и задач Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

	деятельности	Уметь производить расчеты режимов работы насосов и компрессоров	Разноуровневые задания и задачи. Вопросы для защиты разноуровневых заданий и задач. Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации
		Владеть навыками подбора и управления режимами работы насосно-компрессорного оборудования для обеспечения технологических процессов трубопроводного транспорта	Разноуровневые задания и задачи. Вопросы для защиты разноуровневых заданий и задач. Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

2 Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Разноуровневые задания и задачи

В данной дисциплине реализуются задачи (задания) репродуктивного уровня.

Задача №1 «Определение характеристик насосов»

В таблице 1 указаны значения давлений, полученные по манометрам, установленным на входе в насос $p_{вх}$ и на выходе из насоса $p_{вых}$. В паспорте на насосы центробежные многоступенчатые секционные АНС-60.00.000 ПС приведено значение плотности жидкости (воды), на которой проводились испытания насосов и были получены характеристики $\rho = 997 \text{ м}^3/\text{ч}$. Ускорение свободного падения принять $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$. Требуется вычислить значение напора H [м], определить подачу насоса Q [$\text{м}^3/\text{ч}$], рассчитать полезную мощность N [кВт] и к.п.д насоса η [ед или %]. В расчетах понадобится значение мощности приводного электродвигателя $N_{\text{д}}$ [кВт] – его принять по таблице 1 в паспорте АНС-60.00.000 ПС.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	$p_{\text{вх}}$, МПа	$p_{\text{вых}}$, МПа	Модель насоса
1	0,036	0,525	ЦНС 38-44
2	0,036	0,721	ЦНС 38-66
3	0,036	0,916	ЦНС 38-88
4	0,036	1,112	ЦНС 38-110
5	0,036	1,307	ЦНС 38-132
6	0,036	1,503	ЦНС 38-154
7	0,036	1,699	ЦНС 38-176
8	0,036	1,894	ЦНС 38-198
9	0,036	2,090	ЦНС 38-220
10	0,045	0,632	ЦНС 60-66
11	0,045	0,827	ЦНС 60-99
12	0,045	1,219	ЦНС 60-132
13	0,045	1,414	ЦНС 60-165
14	0,045	1,610	ЦНС 60-198
15	0,045	1,806	ЦНС 60-231
16	0,045	2,197	ЦНС 60-264
17	0,045	2,588	ЦНС 60-297
18	0,045	2,979	ЦНС 60-330
19	0,03	0,715	ЦНС 13-70
20	0,03	1,057	ЦНС 13-105
21	0,03	1,399	ЦНС 13-140
22	0,03	1,742	ЦНС 13-175
23	0,03	2,084	ЦНС 13-210
24	0,03	2,426	ЦНС 13-245
25	0,03	2,769	ЦНС 13-280
26	0,03	3,111	ЦНС 13-315
27	0,03	3,453	ЦНС 13-350
28	0,036	0,427	ЦНСМ 38-44
29	0,045	0,632	ЦНСМ 60-66
30	0,03	0,715	ЦНСГ 13-70

Задача №2 «Определение рабочего диапазона»

В таблице 1 указаны модели насосов типа ЦНС, ЦНСГ и ЦНСМ в соответствии с паспортом на насосы центробежные многоступенчатые секционные АНС-60.00.000 ПС. Используя паспорт АНС-60.00.000 ПС нужно выполнить следующие задания.

- 1) Ответить на вопрос: какой функцией описывается напорная характеристика насоса?
- 2) Ответить на вопрос: куда направлена вершина графика напорной характеристики насоса?
- 3) Дать определения подачи и напора насоса.
- 4) Написать значения подачи и напора для Вашего насоса и указать их единицы измерения.
- 5) Ответить на вопрос: что такое допустимый кавитационный запас? Указать значение допустимого кавитационного запаса для Вашего насоса.
- 6) Дать определение «рабочая часть».

7) Дать определение «ротор насоса».

8) Используя п. 1.5.3 паспорта АНС-60.00.000 ПС кратко описать принципа работы насоса ЦНС.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Модель насоса	Номер варианта	Модель насоса
1	ЦНС 38-44	16	ЦНС 60-264
2	ЦНС 38-66	17	ЦНС 60-297
3	ЦНС 38-88	18	ЦНС 60-330
4	ЦНС 38-110	19	ЦНС 13-70
5	ЦНС 38-132	20	ЦНС 13-105
6	ЦНС 38-154	21	ЦНС 13-140
7	ЦНС 38-176	22	ЦНС 13-175
8	ЦНС 38-198	23	ЦНС 13-210
9	ЦНС 38-220	24	ЦНС 13-245
10	ЦНС 60-66	25	ЦНС 13-280
11	ЦНС 60-99	26	ЦНС 13-315
12	ЦНС 60-132	27	ЦНС 13-350
13	ЦНС 60-165	28	ЦНСМ 38-44
14	ЦНС 60-198	29	ЦНСМ 60-66
15	ЦНС 60-231	30	ЦНСГ 13-70

Задача №3 «Определение рабочей точки»

В таблице 1 указаны значения подачи насоса в рабочей точке Q_p [$\text{м}^3/\text{ч}$], и модели насосов типа ЦНС, ЦНСГ и ЦНСМ в соответствии с паспортом на насосы центробежные многоступенчатые секционные АНС-60.00.000 ПС. Используя паспорт АНС-60.00.000 ПС нужно выполнить следующие задания.

9) Написать значения подачи и напора в номинальном режиме для Вашего насоса.

10) По указанной в таблице 1 задачи 3 подаче определить координаты рабочей точки графоаналитическим методом?

11) Ответить на вопрос: попадает ли рабочая точка в номинальный режим?

12) Ответить на вопрос: попадает ли рабочая точка в рабочий диапазон (рабочую часть)?

13) Ответить на вопрос: нужно ли изменить положение рабочей точки, если да – написать способ?

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	$Q_p, \text{ м}^3/\text{ч}$	Модель насоса	Номер варианта	$Q_p, \text{ м}^3/\text{ч}$	Модель насоса
1	25	ЦНС 38-44	16	78	ЦНС 60-264
2	26	ЦНС 38-66	17	84	ЦНС 60-297
3	22	ЦНС 38-88	18	88	ЦНС 60-330
4	24	ЦНС 38-110	19	9	ЦНС 13-70
5	36	ЦНС 38-132	20	10	ЦНС 13-105
6	38	ЦНС 38-154	21	11	ЦНС 13-140
7	40	ЦНС 38-176	22	12	ЦНС 13-175
8	46	ЦНС 38-198	23	13	ЦНС 13-210
9	51	ЦНС 38-220	24	14	ЦНС 13-245
10	40	ЦНС 60-66	25	15	ЦНС 13-280
11	48	ЦНС 60-99	26	16	ЦНС 13-315
12	58	ЦНС 60-132	27	18	ЦНС 13-350
13	60	ЦНС 60-165	28	34	ЦНСМ 38-44
14	64	ЦНС 60-198	29	72	ЦНСМ 60-66
15	68	ЦНС 60-231	30	16	ЦНСГ 13-70

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

1) Формула Паскаля:

$$p = \rho g H,$$

где p – давление, Па;

ρ – плотность, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – напор, м,

Преобразовав формулу Паскаля можно определить напор насоса по показателям манометров установленных на выходе из насоса и на входе в него:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g},$$

где Δp – разница давлений на выходе из насоса и на входе в него, Па.

2) Функция напорной характеристики:

$$H = a - bQ^2$$

или:

$$Q = \sqrt{\frac{a - H}{b}},$$

где a и b – аппроксимационные коэффициенты, м и (м⁻⁶/ч⁻²).

Функция напорной характеристики представлена полиномом второго порядка (второй степени), т.е. квадратным уравнением вида:

$$H = a - bQ^2,$$

а график функции напорной характеристики – парабола (см. рисунок1).

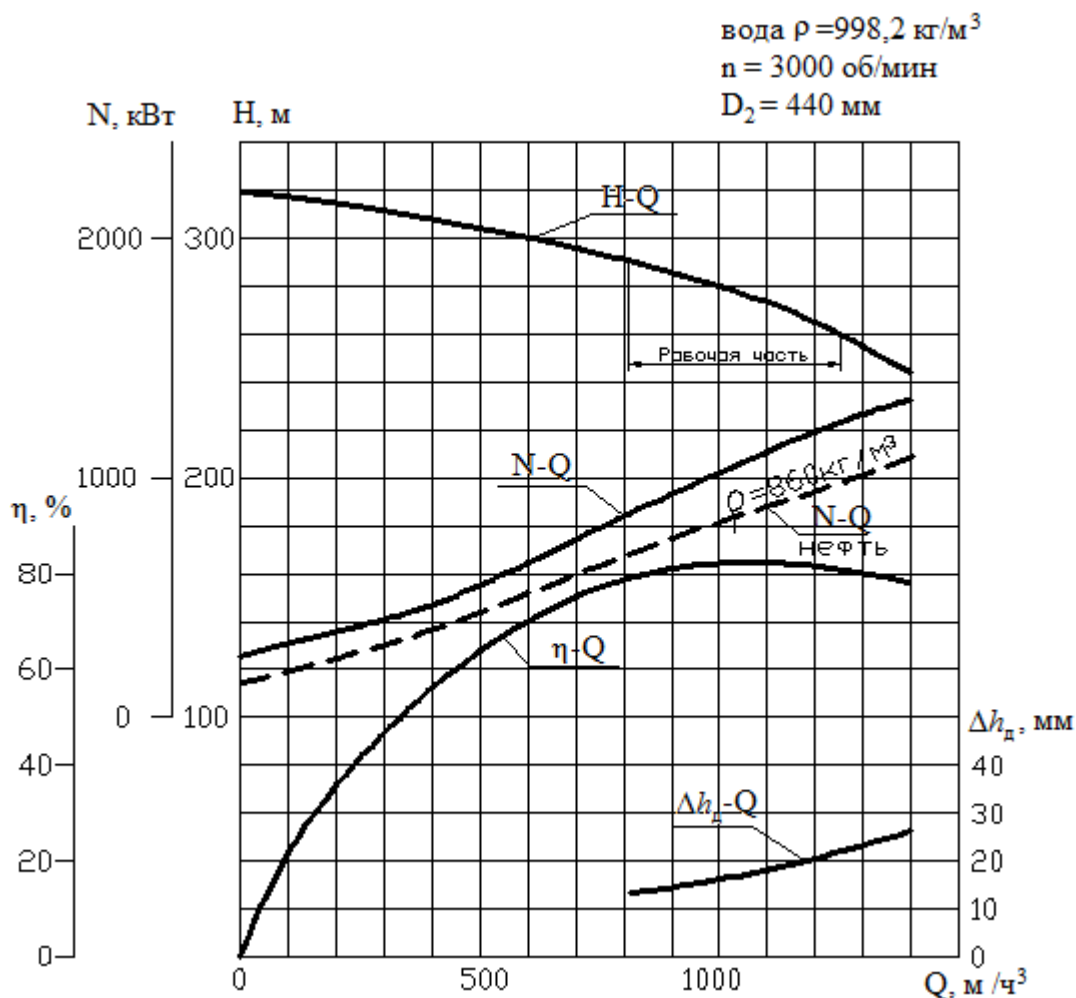


Рисунок 1 – Характеристика насоса магистрального НМ 1250-260 с ротором $Q = 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$ (паспорт Н12.165.000.00 ПС-Р «Насос нефтяной магистральный типа «НМ» и агрегат электронасосный на его основе»)

3) Формула вычисления полезной мощности насоса:

$$N = QH\rho g$$

или

$$N = Q\Delta p.$$

4) Формула вычисления к.п.д.:

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{н}}}$$

или

$$\eta = \frac{QH\rho g}{N_{\text{н}}}.$$

Задача №4 «Пересчет характеристик насосов типа ЦНС с воды на нефть»

В таблице 1 указаны модели насосов типа ЦНС, ЦНСГ и ЦНСМ в соответствии с паспортом на насосы центробежные многоступенчатые секционные АНС-60.00.000 ПС, вязкость перекачиваемой нефти ν [мм²/с] и размеры рабочего колеса – наружный диаметр D_2 [мм] и ширина лопасти на выходе из рабочего колеса B_2 [мм]. Вычислить коэффициенты пересчета характеристик насоса с воды на нефть и пересчитать паспортные характеристики насоса.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Модель насоса	D_2 , мм	B_2 , мм	ν , мм ² /с
1	2	3	4	5
1	ЦНС 38-44	151	12	10
2	ЦНС 38-66	151	12	15
3	ЦНС 38-88	151	12	20
4	ЦНС 38-110	151	12	25
5	ЦНС 38-132	151	12	30
6	ЦНС 38-154	151	12	35
7	ЦНС 38-176	151	12	40
8	ЦНС 38-198	151	12	45
9	ЦНС 38-220	151	12	50
10	ЦНС 60-66	178	14	30
11	ЦНС 60-99	178	14	35
12	ЦНС 60-132	178	14	40
13	ЦНС 60-165	178	14	45
14	ЦНС 60-198	178	14	50
15	ЦНС 60-231	178	14	55
16	ЦНС 60-264	178	14	60
17	ЦНС 60-297	178	14	65
18	ЦНС 60-330	178	14	70
19	ЦНС 13-70	124	11	8
20	ЦНС 13-105	124	11	10
21	ЦНС 13-140	124	11	12
22	ЦНС 13-175	124	11	14
23	ЦНС 13-210	124	11	16

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
24	ЦНС 13-245	124	11	18
25	ЦНС 13-280	124	11	20
26	ЦНС 13-315	124	11	22
27	ЦНС 13-350	124	11	24
28	ЦНСМ 38-44	151	12	40
29	ЦНСМ 60-66	178	14	75
30	ЦНСГ 13-70	124	11	6

Задача №5 «Пересчет характеристик насосов типа НМ с воды на нефть»

В таблице 1 указаны модели насосов типа НМ в соответствии с паспортом на насос нефтяной магистральный типа «НМ» и агрегат электронасосный на его основе Н12.165.000.00 ПС-Р, вязкость перекачиваемой нефти ν [мм²/с], наружный диаметр D_2 [мм], частота вращения рабочего колеса n [об/мин] и коэффициент быстроходности n_s [ед]. Вычислить коэффициенты пересчета характеристик насоса с воды на нефть и пересчитать паспортные характеристики насоса.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Модель насоса	D_2 , мм	n , об/мин	n_s , ед	ν , мм ² /с
1	2	3	4	5	6
1	НМ 1250-260	460	3000	71	150
2	НМ 1250-260а	418	3000	77	150
3	НМ 1250-260б	395	3000	89	150
4	НМ 1250/0,7-260	418	3000	62	150
5	НМ 1250/1,25-260	450	3000	79	150
6	НМ 2500-230	440	3000	109	150
7	НМ 2500-230а	405	3000	95	150
8	НМ 2500-230б	425	3000	79	150
9	НМ 2500/0,5-230	425	3000	77	150
10	НМ 2500/0,7-230	405	3000	93	150
11	НМ 2500/1,25-230	450	3000	123	150
12	НМ 3600-230	460	3000	131	150
13	НМ 3600-230а	450	3000	104	150
14	НМ 3600-230б	450	3000	93	150
15	НМ 3600/0,5-230	450	3000	93	150
16	НМ 3600/0,7-230	430	3000	109	150
17	НМ 3600/1,25-230	470	3000	147	150
18	НМ 5000-210	450	3000	165	150
19	НМ 5000-210а	470	3000	134	150
20	НМ 5000-260б	430	3000	117	150
21	НМ 5000/0,5-210	430	3000	117	150
22	НМ 5000/0,7-210	470	3000	134	150
23	НМ 7000-210	450	3000	138	150
24	НМ 7000-210а	475	3000	168	150

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
25	НМ 7000-210б	467	3000	138	150
26	НМ 7000/0,5-210	450	3000	138	150
27	НМ 7000/0,7-210	475	3000	165	150
28	НМ 7000/1,25-210	490	3000	219	150
29	НМ 10000-210	500	3000	249	150
30	НМ 10000-210а	475	3000	165	150

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению задач №4...№5

В паспорте на насосы характеристики приводятся на воде. При перекачке нефти характеристики изменяются, ухудшаются.

Согласно учебному пособию [1] формулы для вычисления коэффициентов пересчета с воды на нефть отличаются для насосов с двухсторонним и односторонним входом жидкости в рабочее колесо.

Формулы для расчета параметров работы насоса на нефти Q_n , H_n и η_n по известным параметрам работы на воде Q_b , H_b и η_b имеют вид:

$$Q_n = Q_b k_Q;$$

$$H_n = H_b k_H;$$

$$\eta_n = \eta_b k_\eta,$$

где k_Q , k_H , k_η – коэффициенты пересчета соответственно подачи, напора и к.п.д. насоса с воды на вязкую нефть (нефтепродукт).

Формулы для вычисления коэффициентов k_Q , k_H , k_η для насосов с односторонним и двухсторонним входом жидкости в рабочее колесо различны.

Формулы для решения задачи №4

Для насосов с односторонним и двухсторонним входом жидкости в рабочее колесо пересчет характеристик производится при выполнении неравенства:

$$\nu_{н.п.} < \nu < \nu_{в.п.},$$

где ν – кинематическая вязкость нефти при температуре перекачки, м²/с;

$\nu_{н.п.}$, $\nu_{в.п.}$ – соответственно предельные нижнее и верхнее значения вязкости, при которых пересчет характеристик насосов необходим м²/с:

$$v_{н.п.} = 7,5 \cdot 10^{-6} \frac{Q_{в.ном.}}{\sqrt{D_2 B_2}};$$

$$v_{в.п.} = 2,6 \cdot 10^{-4} \frac{Q_{в.ном.}}{\sqrt{D_2 B_2}},$$

где $Q_{в.ном.}$ – подача насоса, соответствующая его максимальному КПД при работе на воде;

D_2 и B_2 – наружный диаметр и ширина лопаток рабочего колеса, м.

Если $v \leq v_{н.п.}$, то пересчет характеристик насоса не требуется, если $v \geq v_{в.п.}$, то необходимо использовать другой насос.

В качестве определяющего параметра используется число Рейнольдса в насосе в следующей записи:

$$Re_n = 0,527 \frac{Q_{в.ном.}}{v \sqrt{D_2 B_2}},$$

По характеру изменения k_Q , k_H , k_η для центробежных насосов с рабочим колесом одностороннего входа жидкости существуют три зоны. В пределах каждой из них действуют свои законы гидравлического сопротивления:

$$k_Q = \begin{cases} -0,774 + 0,580 \cdot \lg Re_n, & \text{при } Re \leq 600; \\ 0,412 + 0,153 \cdot \lg Re_n, & \text{при } Re = 600 \dots 7000; \\ 1, & \text{при } Re \geq 7000; \end{cases}$$

$$k_H = k_Q^{1,5};$$

$$k_\eta = \begin{cases} -0,852 + 0,483 \cdot \lg Re_n, & \text{при } Re \leq 2300; \\ -0,201 + 0,170 \cdot \lg Re_n, & \text{при } Re = 2300 \dots 50000; \\ 1, & \text{при } Re \geq 50000. \end{cases}$$

Формулы для решения задачи №5

В методике пересчета характеристик магистральных центробежных насосов в качестве параметра, характеризующего её течение в колесе, используется число Рейнольдса в другой записи:

$$Re_n = \frac{n D_2^2}{v}$$

где n – число оборотов ротора насоса в час.

Переходное число Рейнольдса вычисляется по формуле:

$$Re_{\Pi} = 3,16 \cdot 10^5 n_s^{-0,305}$$

где n_s – коэффициент быстроходности насоса.

В данном случае для вычисления коэффициентов пересчета подачи, напора и к.п.д. с воды на вязкую нефть используются следующие формулы:

$$k_H = 1 - 0,128 \cdot \lg \frac{Re_{\Pi}}{Re_H};$$

$$k_Q = k_H^{1,5};$$

$$k_{\eta} = 1 - \alpha_{\eta} \cdot \lg \frac{Re_{гp}}{Re_H},$$

где $Re_{гp}$ – граничное число Рейнольдса;

α_{η} – поправочный коэффициент.

Величины $Re_{гp}$ и α_{η} являются функцией n_s :

$$Re_{гp} = 0,224 \cdot 10^5 n_s^{0,384}$$

$$\alpha_{\eta} = 1,33 n_s^{-0,326}.$$

Если $Re_{\Pi} \leq Re_H$ и $Re_{гp} \leq Re_H$, то пересчет характеристик насоса не требуется, если $Re_{\Pi} \leq Re_H$, а $Re_{гp} > Re_H$, то пересчитывается только к.п.д., если $Re_{\Pi} > Re_H$ и $Re_{гp} > Re_H$, то пересчитываются все характеристики насоса.

Задача №6 «Последовательное соединение насосов»

В таблице 1 указаны модели насосов типа НМ в соответствии с паспортом на насос нефтяной магистральный типа «НМ» и агрегат электронасосный на его основе Н12.165.000.00 ПС, подачи Q [м³/ч] и напоры H [м] в номинальном режиме, а также аппроксимационные коэффициенты напорной функции a [м] и b [ч²/м⁵]. Составить уравнение напорной функции, построить график функции $H = f(Q)$ для насоса при индивидуальной работе его на трубопроводную сеть и для группы из трех насосов при их совместной последовательной работе на трубопроводную сеть.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Модель насоса	Q , м ³ /ч	H , м	a , м	b , ч ² /м ⁵
1	НМ 1250-260	1250	260	318,8	$38,7 \cdot 10^{-6}$
2	НМ 1250-260а	1135	215	283	$35,4 \cdot 10^{-6}$
3	НМ 1250-260б	1070	192	271	$43,9 \cdot 10^{-6}$
4	НМ 1250/0,7-260	900	255	216,4	$40,9 \cdot 10^{-6}$
5	НМ 1250/1,25-260	1565	270	327,4	$25 \cdot 10^{-6}$
6	НМ 2500-230	2500	230	287,9	$9,47 \cdot 10^{-6}$
7	НМ 2500-230а	2300	195	246,8	$7,18 \cdot 10^{-6}$
8	НМ 2500-230б	2190	176	248	$16,3 \cdot 10^{-6}$
9	НМ 2500/0,5-230	1250	220	246,7	$16,8 \cdot 10^{-6}$
10	НМ 2500/0,7-230	1800	225	248,7	$7,61 \cdot 10^{-6}$
11	НМ 2500/1,25-230	3150	225	371	$14,9 \cdot 10^{-6}$
12	НМ 3600-230	3600	230	325,6	$7,36 \cdot 10^{-6}$
13	НМ 3600-230а	3325	196	269,6	$7,24 \cdot 10^{-6}$
14	НМ 3600-230б	3230	185	272,8	$13,1 \cdot 10^{-6}$
15	НМ 3600/0,5-230	1800	230	279	$16,3 \cdot 10^{-6}$
16	НМ 3600/0,7-230	2500	230	270,3	$6,7 \cdot 10^{-6}$
17	НМ 3600/1,25-230	4500	220	319,1	$5,43 \cdot 10^{-6}$
18	НМ 5000-210	5000	210	227,9	$2,81 \cdot 10^{-6}$
19	НМ 5000-210а	4720	187	284,5	$5,31 \cdot 10^{-6}$
20	НМ 5000-260б	4500	170	133,9	$5,85 \cdot 10^{-6}$
21	НМ 5000/0,5-210	2500	200	133,9	$5,85 \cdot 10^{-6}$
22	НМ 5000/0,7-210	3500	220	284,5	$5,31 \cdot 10^{-6}$
23	НМ 7000-210	7 000	210	296,6	$1,87 \cdot 10^{-6}$
24	НМ 7000-210а	6 630	188	232,9	$2,13 \cdot 10^{-6}$
25	НМ 7000-210б	6 340	172	281,8	$2,84 \cdot 10^{-6}$
26	НМ 7000/0,5-210	3 500	205	232,9	$2,13 \cdot 10^{-6}$
27	НМ 7000/0,7-210	5 000	210	281,8	$2,84 \cdot 10^{-6}$
28	НМ 7000/1,25-210	8 750	210	323,6	$1,43 \cdot 10^{-6}$
29	НМ 10000-210	10 000	210	297,4	$0,89 \cdot 10^{-6}$
30	НМ 10000-210а	9 600	194	321,2	$2,44 \cdot 10^{-6}$

Задача №7 «Параллельное соединение насосов»

В таблице 1 указаны модели насосов типа НПВ в соответствии с паспортом на насос нефтяной подпорный типа «НПВ» и агрегат электронасосный на его основе Н12.54.000.00-03 ПС, подачи Q [м³/ч] и напоры H [м] в номинальном режиме, а также аппроксимационные коэффициенты напорной функции a [м] и b [ч²/м⁵]. Составить уравнение напорной функции, построить график функции $H = f(Q)$ для насоса при индивидуальной работе его на трубопроводную сеть и для группы из двух насосов при их совместной параллельной работе на трубопроводную сеть.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Модель насоса	Q , м ³ /ч	H , м	a , м	b , ч ² /м ⁵
1	НПВ 150-60	150	90	78,5	$836 \cdot 10^{-6}$
2	НПВ 150-60	150	60	63,9	$875 \cdot 10^{-6}$
3	НПВ 300-60	300	60	63,1	$197 \cdot 10^{-6}$
4	НПВ 600-60	600	60	62,1	$47,7 \cdot 10^{-6}$
5	НПВ 1250-60-М	1250	60	64,2	$13,27 \cdot 10^{-6}$
6	НПВ 1250-30-М	1250	30	59,9	$8,9 \cdot 10^{-6}$
7	НПВ 1250-110-М	1250	110	77,1	$11,48 \cdot 10^{-6}$
8	НПВ 2500-120-М	2500	120	113,3	$5,36 \cdot 10^{-6}$
9	НПВ 2500-120а-М	2500	110	96,4	$4,5 \cdot 10^{-6}$
10	НПВ 2500-80-М	2500	80	86,3	$4,4 \cdot 10^{-6}$
11	НПВ 2500-40-М	2500	40	82,9	$3,61 \cdot 10^{-6}$
12	НПВ 3600-135-М	3600	135	136,3	$3,7 \cdot 10^{-6}$
13	НПВ 3600-135а-М	3600	120	127	$2,9 \cdot 10^{-6}$
14	НПВ 3600-90-М	3600	90	101,8	$3 \cdot 10^{-6}$
15	НПВ 3600-45-М	3600	45	93,7	$1,4 \cdot 10^{-6}$
16	НПВ 5000-120-М	5000	120	151,9	$1,33 \cdot 10^{-6}$
17	НПВ 5000-60-М	5000	60	120,7	$1 \cdot 10^{-6}$
18	НПВ 150-60	150	90	78,5	$836 \cdot 10^{-6}$
19	НПВ 150-60	150	60	63,9	$875 \cdot 10^{-6}$
20	НПВ 300-60	300	60	78,5	$199 \cdot 10^{-6}$
21	НПВ 600-60	600	60	75,3	$45 \cdot 10^{-6}$
22	НПВ 1250-60-М	1250	60	64,2	$13,27 \cdot 10^{-6}$
23	НПВ 1250-30-М	1250	30	59,9	$8,9 \cdot 10^{-6}$
24	НПВ 1250-110-М	1250	110	77,1	$11,48 \cdot 10^{-6}$
25	НПВ 2500-120-М	2500	120	113,3	$5,36 \cdot 10^{-6}$
26	НПВ 2500-120а-М	2500	110	96,4	$4,5 \cdot 10^{-6}$
27	НПВ 2500-80-М	2500	80	86,3	$4,4 \cdot 10^{-6}$
28	НПВ 2500-40-М	2500	40	82,9	$3,61 \cdot 10^{-6}$
29	НПВ 3600-135-М	3600	135	136,3	$3,7 \cdot 10^{-6}$
30	НПВ 3600-90-М	3600	90	101,8	$3 \cdot 10^{-6}$

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению задач №6...№7

При перекачках жидкостей в большом количестве и с высокими давлениями (напорами) часто возникают случаи, когда одного насосного агрегата недостаточно для обеспечения необходимых параметров перекачки.

В таких случаях в насосной станции устанавливается несколько насосных агрегатов, которые, в зависимости от того, какой параметр не позволяет обеспечить установка одного агрегата, могут быть включены в работу последовательно или параллельно.

Закон последовательного соединения насосов: «при последовательной работе насосов на трубопроводную сеть напоры насосов складываются, а подача остается постоянной»:

$$Q = const,$$

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n.$$

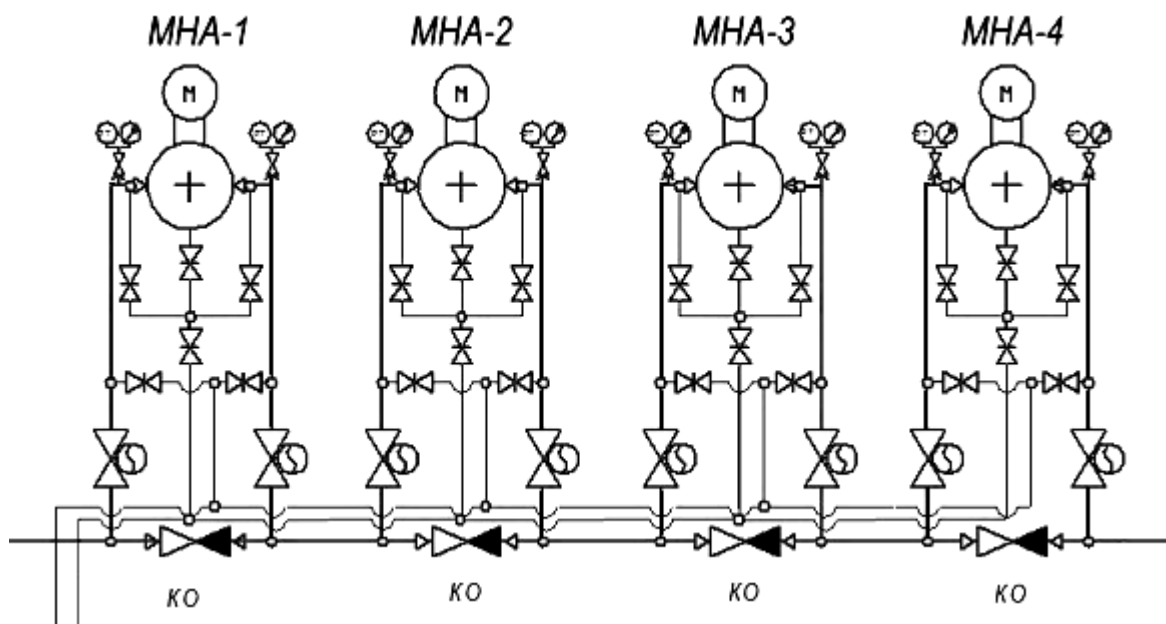


Рисунок 1 – Последовательное соединение насосов

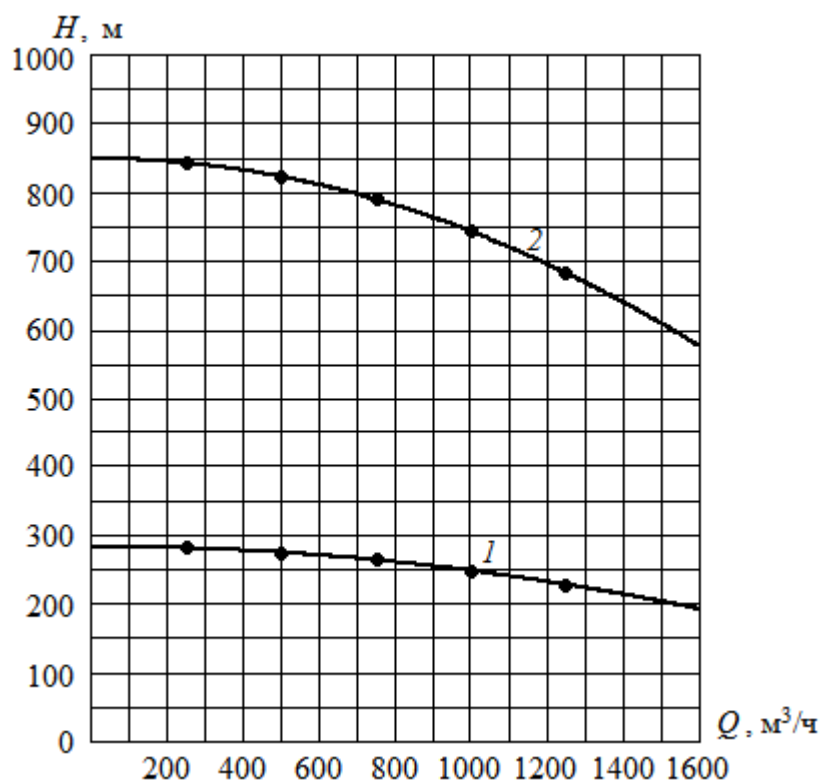


Рисунок 2 – Характеристика насосов при индивидуальной (1) и совместной последовательной (2) работе насосов на сеть

Закон параллельного соединения насосов: «при параллельной работе насосов на трубопроводную сеть подачи насосов складываются, а напор остается постоянным»:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$H = const.$$

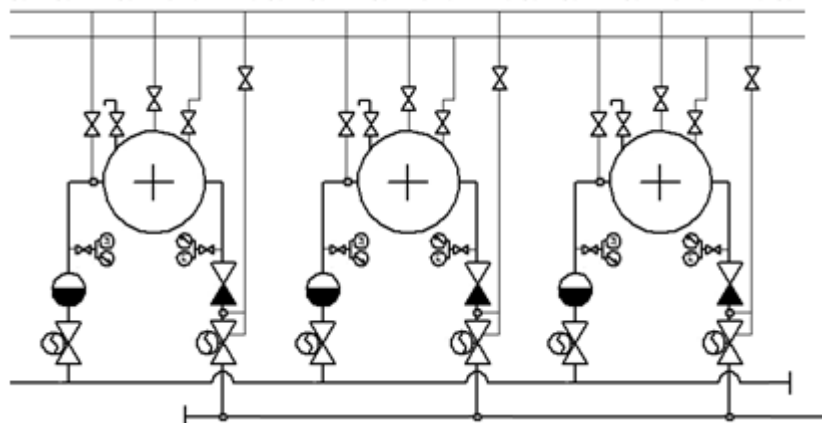


Рисунок 3 – Параллельное соединение насосов

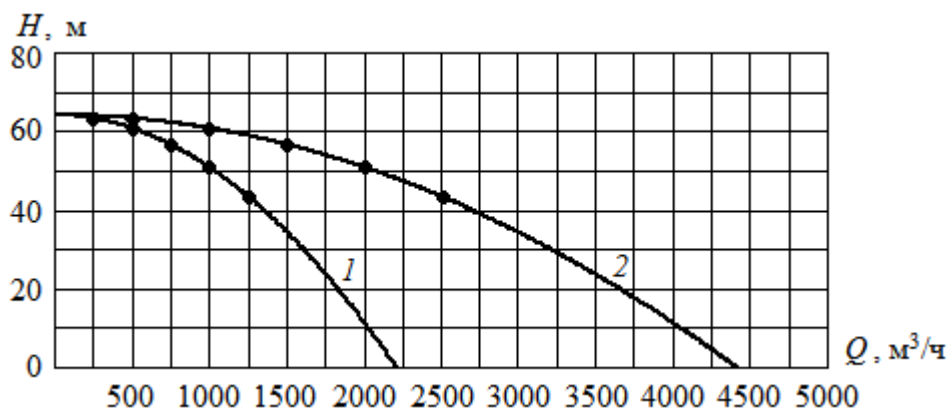


Рисунок 4 – Характеристика насосов при индивидуальной (1) и совместной параллельной (2) работе насосов на сеть

Задача №8 «Подбор насосно-силового оборудования НПС»

В таблице 1 указаны значения пропускной способности магистрального нефтепровода G [млн.т/год]. По нефтепроводу транспортируется нефть с кинематической вязкостью $150 \text{ м}^2/\text{с}$ и плотностью $860 \text{ кг}/\text{м}^3$. Необходимо подобрать насосно-силовое оборудование нефтеперекачивающей станции (НПС) и определить рабочее давление на выходе из станции.

Таблица 1 – Варианты заданий

Номер варианта	G , млн.т/год	Номер варианта	G , млн.т/год
1	7,00	16	10,75
2	7,25	17	11,00
3	7,50	18	11,25
4	7,75	19	11,50
5	8,00	20	11,75
6	8,25	21	12,00
7	8,50	22	12,25
8	8,75	23	12,50
9	9,00	24	12,75
10	9,25	25	13,00
11	9,50	26	13,25
12	9,75	27	13,50
13	10,00	28	13,75
14	10,25	29	14,00
15	10,50	30	14,25

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Согласно РД-75.180.00-КТН-198-09 расчётная часовая пропускная способность нефтепровода определяется по формуле:

$$Q = \frac{G \cdot 10^9 \cdot k}{N_p \cdot 24 \cdot \rho},$$

где G – производительность нефтепровода, млн. т/год (указывается в задании);

10^9 – число для перевода миллионов тонн в тонны (10^6) и из тонн в килограммы (10^3);

k – коэффициента неравномерности перекачки, ед (см. РД 153-39.4-113 – 01);

N_p – число рабочих суток в году, сут (в компании АК «Транснефть» это число принимают $N_p = 350$ сут, полагая, что 15 суток остается на плановые остановки и ремонты нефтепровода)

24 – количество часов в сутках, ч;

ρ – плотность перекачиваемого продукта, кг/м³ (указывается в задании).

Значение коэффициента неравномерности перекачки k составляет:

– для проектируемого нефтепровода, идущего параллельно с другими нефтепроводами и образующим систему $k = 1,05$;

– для проектируемого однниточного нефтепровода, по которому нефть подается к нефтеперерабатывающему заводу, а также для проектируемого однниточного нефтепровода, соединяющего существующие нефтепроводы $k = 1,07$;

– для проектируемого однниточного нефтепровода, подающего нефть от пункта добычи к системе нефтепроводов, $k = 1,10$;

– для действующего нефтепровода $k=1,0$.

Схема подключения и количество насосов на НПС определяются из условия, что суммарное давление, создаваемое насосами, не должно превышать максимального допустимого значения давления $p_{\text{доп}} = 6,4$ МПа для запорной арматуры и насосов.

Схема подключения насосов на головной НПС: два подпорных насоса параллельного соединения (НПВ) с резервным (НПВ (Р)) и три магистральных насоса последовательного соединения (НМ) с одним резервным (НМ (Р)) показана на рис. 1. На головной НПС два подпорных насоса параллельного соединения работают на один магистральный насос с целью обеспечения необходимой производительности).

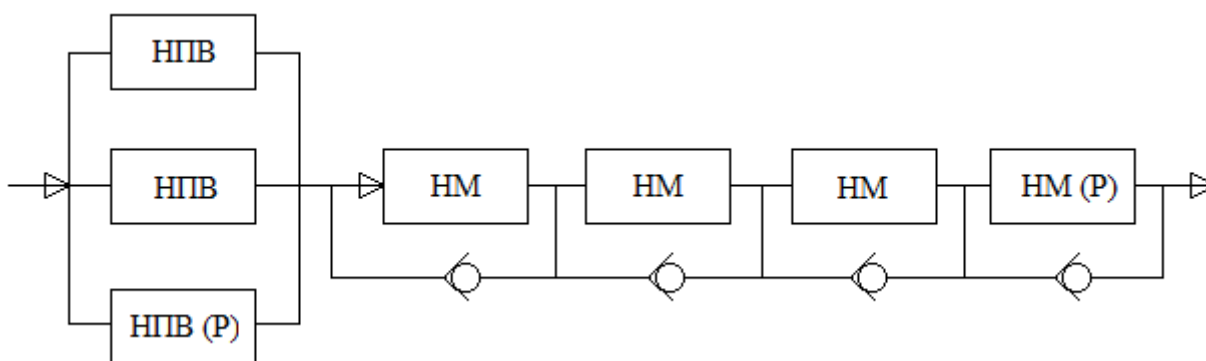


Рисунок 1 – Схема подключения насосов на головной НПС

На промежуточных НПС перекачка осуществляется по схеме «из насоса в насос» и подпорные насосы не устанавливаются. Схема подключения – три магистральных насоса последовательного соединения с одним резервным.

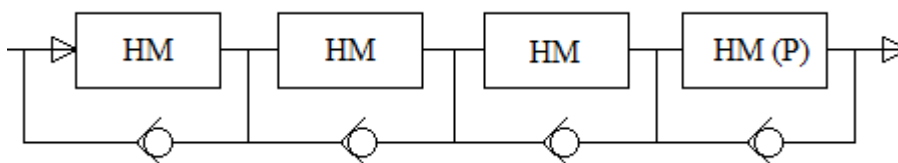


Рисунок 2 – Схема подключения насосов на промежуточной НПС

По напорным характеристикам насосов вычисляется рабочее давление в МПа из условия:

$$p = \rho \cdot g \cdot (n_{\text{МНА}} \cdot H_{\text{МНА}} + H_{\text{ПНА}}),$$

где ρ – плотность перекачиваемого продукта, кг/м^3 (указывается в задании).

g – ускорение свободного падения, м/с^2 (принять $g = 9,81 \text{ м/с}^2$)

Напорная характеристика центробежных насосов магистральных нефтепроводов (зависимость напора H от подачи Q) имеет вид параболы и описывается квадратным уравнением:

$$H = a - b \cdot Q^2,$$

где a и b – эмпирические коэффициенты.

Задача 9 «Подбор насосно-силового оборудования наливных станций»

В таблице 1 дано количество железнодорожных вагонов-цистерн типа 15-1443, в которые планируется осуществить налив товарной нефти. На рисунках 1 и 2 приведены схемы стояка налива и наливной станции. по вариантам даны: количество вагонов-цистерн n [шт], динамическая вязкость μ [мПа·с] и плотность ρ [кг/м³] нефти. Длина всасывающей линии «резервуар – насос» $l_{всас.}$ [м] и длина напорной линии «насос – коллектор» $l_{нап.}$ [м].

На всасывающей линии имеются: 1 выход из резервуара, 3 задвижки, 2 отвода 90°, 1 фильтр и 6 тройников. На напорной линии – 1 задвижка, 1 обратный клапан и 3 тройника.

Расстояние между стояками налива 12 м. Геометрические параметры стояка приведены на схеме. Геометрическая длина стояка $l_{ст.} = 10$ м, условные диаметры стояка и гофрированного рукава равны 0,1 м. Разность геодезических отметок нижней образующей цистерны и насоса $\Delta z_{ц-н}$ [м] и разность геодезических отметок насоса и днища резервуара $\Delta z_{н-р}$ [м] даны в таблице 1.

Требуется рассчитать систему налива (рисунок 2) и подобрать насосно-силовое оборудование наливной станции.

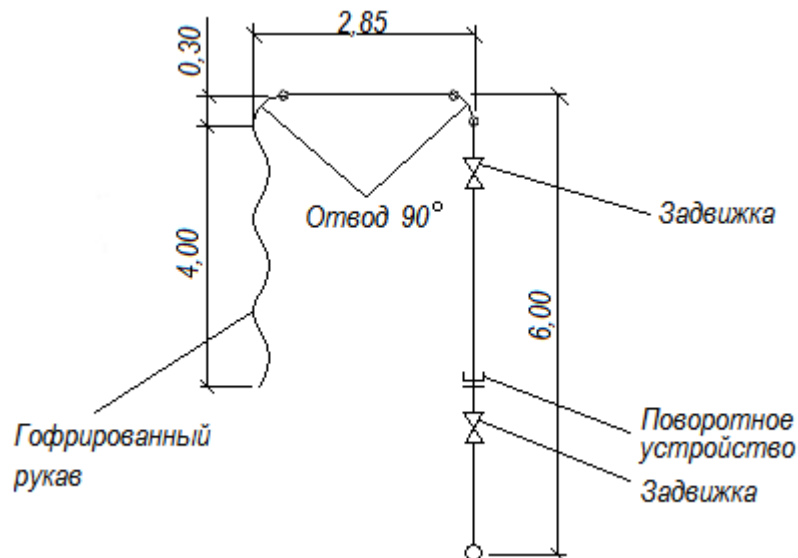


Рисунок 1 – Схема стояка налива

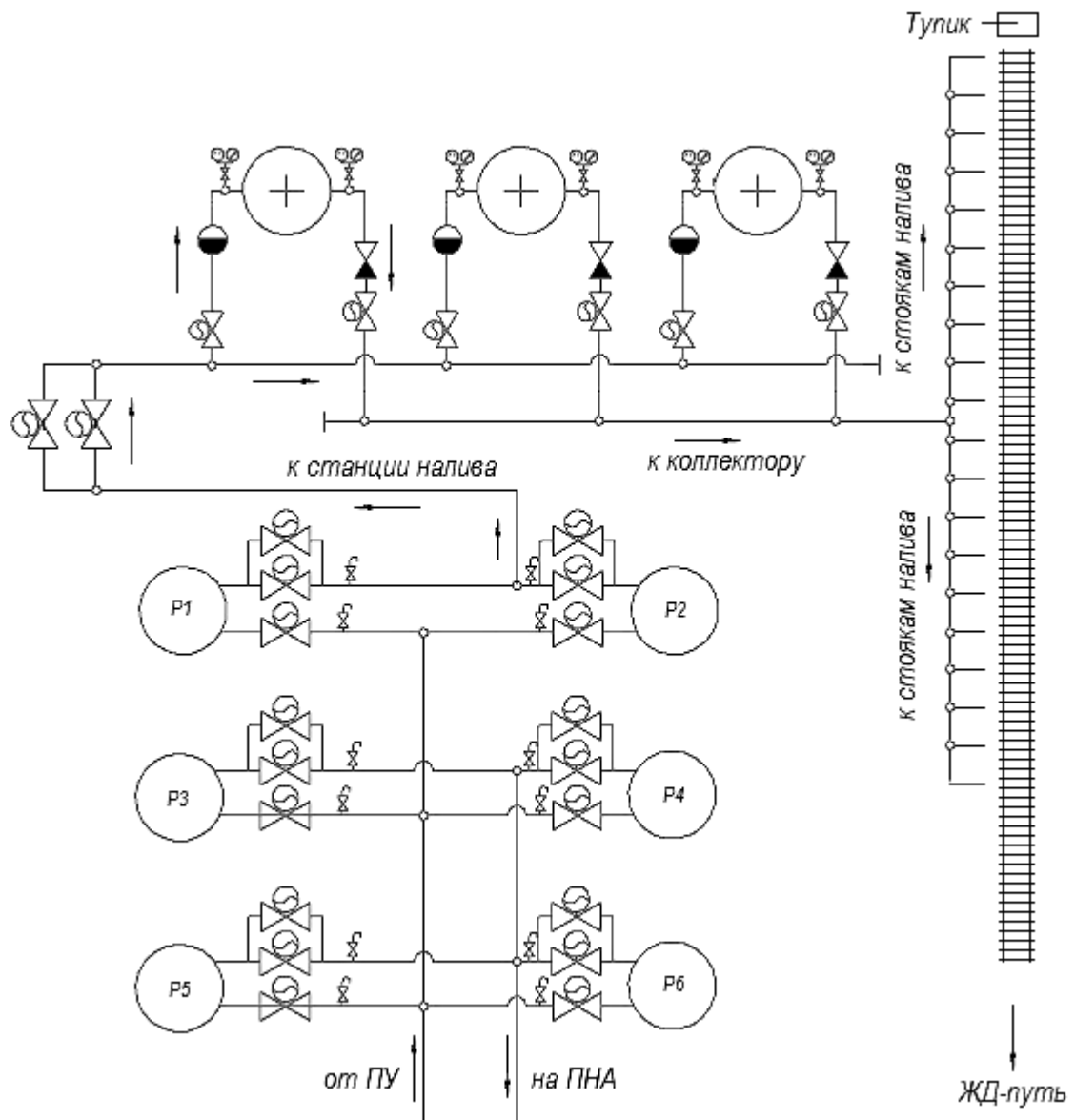


Рисунок 2 – Схема наливной станции

Таблица 1 – Варианты заданий

Номер варианта	n , шт	μ , мПа·с	ρ , кг/м ³	$l_{\text{всас.}}$, М	$l_{\text{нап.}}$, М	$\Delta z_{\text{п-н}}$, М]	$\Delta z_{\text{н-р}}$, М
1	2	3	4	5	6	7	8
1	16	10	840	280	210	10	0
2	18	11	840	290	220	8	-1
3	20	12	840	300	230	9	-2
4	22	13	840	310	240	10	-1
5	24	14	840	320	250	11	0
6	26	15	840	330	260	12	-1
7	28	16	860	340	270	13	-2
8	30	17	860	350	280	14	-1
9	28	18	860	340	290	15	0
10	26	19	860	330	300	14	-1
11	24	20	880	320	290	13	-2
12	22	21	880	310	280	12	-1
13	20	22	880	300	270	11	0

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	18	23	880	290	260	10	-1
15	20	24	880	280	250	9	-2
16	22	25	880	270	240	8	-1
17	24	26	880	260	230	9	0
18	26	27	880	250	220	10	-1
19	28	28	880	260	210	11	-2
20	30	29	880	270	200	12	-1
21	28	30	880	280	190	13	0
22	26	31	880	290	180	14	-1
23	24	32	880	300	190	15	-2
24	22	33	880	310	200	16	-1
25	20	34	880	320	210	15	0
26	18	35	880	330	220	14	-1
27	16	36	880	340	230	13	-2
28	18	37	880	350	240	12	-1
29	20	38	880	360	250	11	0
30	22	39	880	370	260	10	-1

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Согласно РД 153-39.4-113-01 «Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов», п. 7.1.2, наливные станции предназначаются для приема нефти из магистрального трубопровода в емкость и налива нефти в железнодорожные вагоны-цистерны. Проектирование наливных станций должно производиться по нормам технологического проектирования предприятий по обеспечению нефтепродуктами (нефтебаз) ВНТП-5.

Насосный агрегат подбирают по двум параметрам – подаче и напору. Подача вычисляется исходя из количества продукта, которое необходимо перекачать за единицу времени, а напор насоса должен обеспечить преодоление местных сопротивлений и сопротивлений по длине трубопровода как всасывающей, так и напорной линии, а также перепад высот.

Расчет трубопровода осуществляется по следующей схеме:

$$Q \longrightarrow v \longrightarrow Re \longrightarrow \lambda \longrightarrow \Delta h,$$

где Q – пропускная способность трубопровода, м³/ч;

v – скорость движения продукта в трубопроводе, м/с.

Re – число Рейнольдса, определяющее режим течения продукта в трубопроводе, ед;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления, ед;

Δh – потери напора в трубопроводе, м.

Скорость движения продукта в трубопроводе можно вычислить, зная диаметр трубопровода, если он неизвестен – воспользоваться

рекомендуемыми значениями скоростей в напорных и всасывающих линиях, вычислить диаметр и пересчитать фактическую скорость:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2},$$

или

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}},$$

где d – внутренний диаметр трубы, м

Число Рейнольдса находят по формуле:

$$Re = \frac{vd}{\nu},$$

где ν – кинематическая вязкость продукта, м²/с, которую можно вычислить, зная динамическую вязкость μ Па·с:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

где ρ – плотность перекачиваемого продукта, кг/м³

Зная число Рейнольдса, определяется режим течения продукта и соответствующая формула расчет коэффициента гидравлического сопротивления (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Формулы расчета коэффициента гидравлического сопротивления

Режим течения	Число Рейнольдса	Формула	Коэффициент m
Ламинарный режим	$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$	$m = 1$
Переходный режим	$2300 < Re < 4000$	Проектирование трубопровода не рекомендуется	
Турбулентный режим	Зона Блазиуса $4000 < Re < \frac{10}{\varepsilon}$	$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$	$m = 0,25$
	Переходная зона $\frac{10}{\varepsilon} < Re < \frac{500}{\varepsilon}$	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \varepsilon \right)^{0,25}$	$m = 0,125$
	Квадратичная зона $Re > \frac{500}{\varepsilon}$	$\lambda = 0,11(\varepsilon)^{0,25}$	$m = 0$

В таблице использовано значение коэффициента относительной шероховатости ε , которое вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{K_s}{d},$$

где K_s – эквивалентная шероховатость труб (см. таблицу 2), мм.

Таблица 2 – Эквивалентная шероховатость труб

Материал	Значение K_s , мм
Высококачественные бесшовные стальные трубы	0,06...0,2
Стальные трубы	0,1...0,5

Потери напора в трубопроводе вычисляется по формуле:

$$h = \lambda \frac{l_{\text{пр.}}}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где $l_{\text{пр.}}$ – приведенная длина трубопровода, с учетом местных сопротивлений, м:

$$l_{\text{пр.}} = l + \sum \xi \frac{d}{\lambda},$$

где $\sum \xi$ – сумма всех коэффициентов местных сопротивлений на линии всасывания (принимается согласно таблице 3);

l – геометрическая длина трубопровода, м.

Таблица 3 – Коэффициенты местного сопротивления

Вид сопротивления	Коэффициент местного сопротивления ξ
Задвижка	0,15
Поворотное устройство стояка налива	2,00
Тройник	0,32
Отвод 90 °	0,23
Выход из резервуара	1,00
Фильтр	1,70

Задача 10 «Определение свойств природных газов»

Выполнить расчет газовой смеси, данной по варианту (таблица 1).
 Определить: плотность газовой смеси; относительная плотность газа по воздуху; газовая постоянная газа; коэффициент сжимаемости; динамическую и кинематическую вязкости.

Таблица 1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Метан – 98,8 Этан – 0,07 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,29 Азот – 0,83	Метан – 98,6 Этан – 0,06 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,19 Азот – 1,14	Метан – 99,2 Этан – 0,12 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,01 Азот – 0,66	Метан – 99,0 Этан – 0,028 Пропан – 0,007 Бутан – 0,003 Двуокись углерода – 0,063 Азот – 0,899	Метан – 98,4 Этан – 0,07 Пропан – 0,01 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,2 Азот – 1,31
Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 10
Метан – 98,6 Этан – 0,1 Пропан – 0,03 Бутан – 0,02 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,2 Азот – 1,0	Метан – 98,4 Этан – 0,13 Пропан – 0,01 Бутан – 0,005 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,145 Азот – 1,3	Метан – 97,2 Этан – 0,12 Пропан – 0,01 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,1 Азот – 2,56	Метан – 95,1 Этан – 0,32 Двуокись углерода – 0,19 Азот – 4,21	Метан – 98,4 Этан – 0,07 Пропан – 0,01 Двуокись углерода – 0,4 Азот – 1,1
Вариант 11	Вариант 12	Вариант 13	Вариант 14	Вариант 15
Метан – 97,6 Этан – 0,1 Пропан – 0,03 Бутан – 0,01 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,06 Азот – 1,6	Метан – 94,8 Этан – 1,2 Пропан – 0,03 Бутан – 0,01 Пентан – 0,06 Двуокись углерода – 0,5 Азот – 3,0	Метан – 81,8 Этан – 8,8 Пропан – 2,8 Бутан – 0,94 Пентан – 0,3 Двуокись углерода – 0,3 Азот – 5,1	Метан – 98,8 Этан – 0,07 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,29 Азот – 0,83	Метан – 98,6 Этан – 0,06 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,19 Азот – 1,14
Вариант 16	Вариант 17	Вариант 18	Вариант 19	Вариант 20
Метан – 99,2 Этан – 0,12 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,01 Азот – 0,66	Метан – 99,0 Этан – 0,028 Пропан – 0,007 Бутан – 0,003 Двуокись углерода – 0,063 Азот – 0,899	Метан – 98,4 Этан – 0,07 Пропан – 0,01 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,2 Азот – 1,31	Метан – 98,6 Этан – 0,1 Пропан – 0,03 Бутан – 0,02 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,2 Азот – 1,0	Метан – 98,4 Этан – 0,13 Пропан – 0,01 Бутан – 0,005 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,145 Азот – 1,3
Вариант 21	Вариант 22	Вариант 23	Вариант 24	Вариант 25
Метан – 97,2 Этан – 0,12 Пропан – 0,01 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,1 Азот – 2,56	Метан – 95,1 Этан – 0,32 Двуокись углерода – 0,19 Азот – 4,21	Метан – 98,4 Этан – 0,07 Пропан – 0,01 Двуокись углерода – 0,4 Азот – 1,1	Метан – 97,6 Этан – 0,1 Пропан – 0,03 Бутан – 0,01 Пентан – 0,01 Двуокись углерода – 0,06 Азот – 1,6	Метан – 94,8 Этан – 1,2 Пропан – 0,03 Бутан – 0,01 Пентан – 0,06 Двуокись углерода – 0,5 Азот – 3,0

Окончание таблицы 1

Вариант 26	Вариант 27	Вариант 28	Вариант 29	Вариант 30
Метан – 98,6	Метан – 98,8	Метан – 98,6	Метан – 99,2	Метан – 95,1
Этан – 0,06	Этан – 0,07	Этан – 0,06	Этан – 0,12	Этан – 0,32
Пентан – 0,01	Пентан – 0,01	Пентан – 0,01	Пентан – 0,01	Двуокись
Двуокись	Двуокись	Двуокись	Двуокись	углерода – 0,19
углерода – 0,19	углерода – 0,29	углерода – 0,19	углерода – 0,01	Азот – 4,21
Азот – 1,14	Азот – 0,83	Азот – 1,14	Азот – 0,66	

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Задача решается в следующей последовательности:

- 1 определить плотность газовой смеси $\rho_{ст}$, кг/м³
- 2 вычислить относительную плотность газа по воздуху Δ
- 3 определить молярную масса природного газа M_r , кг/моль
- 4 найти газовую постоянную газа R , Дж/кг·К
- 5 определить псевдокритические параметры природного газа.

Псевдокритические параметры природного газа в соответствии с нормами технологического проектирования магистральных газопроводов рассчитываются по известной плотности газовой смеси $\rho_{ст}$, при стандартных условиях

6 Найти коэффициент сжимаемости. Коэффициент сжимаемости z определяется по специальным номограммам в зависимости от приведенных температур и давления, либо по формуле, рекомендованной отраслевыми нормами проектирования

Задача 11 «Подбор основного оборудования КС»

Требуется подобрать ГПА для перекачки газа с подачей Q_r (по варианту в таблице 1) по газопроводу длиной L (по варианту в таблице 1).

Принять:

- постоянная газа R из задачи №10;
- труба газопровода 820x10 (ГОСТ 20295 – 85);
- давление на выходе из КС 5,5 МПа.

Таблица 1 – Пропускная способность газопровода и его длина

Вариант	1	2	3	4	5
Q_r , млрд. м ³ /год	6	6,5	7	7,5	8
L , км	800	900	1000	1100	1200
	6	7	8	9	10
Q_r , млрд. м ³ /год	8,5	9	9,5	10	10,5
L , км	1300	1400	1500	1600	1700
	11	12	13	14	15
Q_r , млрд. м ³ /год	11	11,5	12	11,5	11
L , км	800	900	1000	1100	1200

Окончание таблицы 1

Вариант	16	17	18	19	20
Q_r , млрд. м ³ /год	10,5	10	9,5	9	8,5
L , км	1300	1400	1500	1600	1700
	21	22	23	24	25
Q_r , млрд. м ³ /год	8	7,5	7	6,5	6
L , км	800	900	1000	1100	1200
	26	27	28	29	30
Q_r , млрд. м ³ /год	5,5	5	4,5	4	3,5
L , км	1300	1400	1500	1600	1700

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Задача решается в следующей последовательности:

1 определить расчетную суточную пропускную способность газопровода Q ;

2 определить рекомендуемую степень сжатия газа на КС;

3 подобрать подходящий ГПА, при этом указать номинальную мощность ГПА в кВт, номинальную подачу в млн. м³/сут, давление нагнетания в МПа и давление на приеме в первый нагнетатель в МПа;

4 для заданной трубы определить необходимую толщину стенок;

5 принять трубу с размерами рекомендованными ГОСТом;

6 определить коэффициенты гидравлического сопротивления труб от трения с учетом местных сопротивлений;

7 определить расстояние между КС;

8 определить длину последнего перегона, приняв давление в конце газопровода 2 МПа;

9 определить необходимое число промежуточных КС.

Задача 12 «Расчет режимов работы КС»

Рассчитать режим работы КС работающий ГПА, марка которых и тип нагнетателя был определен в задаче №11. Нагнетателю соответствует своя номинальная мощность N [кВт] и номинальная частота вращения нагнетателя n [об/мин]. Плановое задание на перекачку газа составляет Q_r млн. м³/год (см. задачу №11) при давлении и температуре на входе КС соответственно p_{B1} (принимается согласно таблицам 1...3 задачи №11), T_{B1} (согласно задаче №10). Относительная плотность перекачиваемого газа Δ , коэффициент сжимаемости z , показатель адиабаты m и газовая постоянная воздуха R_B принимаются согласно задаче №10.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Задача решается в следующей последовательности:

1 определить газовую постоянную газа R [Дж/кг·К];

2 определить плотности газа при стандартных условиях и при условиях входа (всасывания) в нагнетатель первой ступени: $\rho_{ст}$ [кг/м³] и $\rho_{в1}$ [кг/м³];

3 определить производительность одной группы последовательно соединенных нагнетателей: Q_1 [м³/сут];

4 определить объемную производительность нагнетателя первой ступени при условиях всасывания $Q_{в1}$ [м³/сут];

5 найти возможный диапазон изменения частоты оборотов нагнетателя первой ступени для нагнетателя заданного по Вашему варианту;

6 приняв среднее значение частоты вращения нагнетателя n_1 определить приведенное значение производительности $Q_{пр1}$ [м³/мин];

7 определить приведенную частоту вращения $\left(\frac{n_1}{n_H}\right)_{пр}$;

8 найти ε_1 и $\left(\frac{N_{i1}}{\rho_{в1}}\right)_{пр}$;

9 определить потребляемую нагнетателем внутреннюю мощность N_{i1} [кВт], если потребляемая мощность оказалась выше номинальной, то частоту вращения надо уменьшить и в такой же последовательности заново провести расчет. Аналогичные расчеты проводят до тех пор, пока не будут получены наилучшие параметры по загрузке нагнетателя;

10 определить мощность на валу привода N_1 [кВт] нагнетателя первой ступени;

11 определить давление газа $p_{н1}$ [МПа] на выходе из нагнетателя первой ступени;

12 определить температуру газа после нагнетателя первой ступени $T_{н1}$ [К];

13 вычислить давление газа на входе в нагнетатель второй ступени $p_{в1}$ [МПа];

14 определить плотность газа $\rho_{в2}$ [кг/м³] на входе в нагнетатель второй ступени;

15 определить объемную производительность нагнетателя второй ступени при условиях входа (всасывания) $Q_{в2}$ [кг/м³];

16 приняв среднее значение частоты вращения нагнетателя n_2 , выполнить аналогичный расчет приведенной производительности $Q_{пр2}$ [м³/мин] для нагнетателя второй ступени;

17 определить приведенную частоту вращения $\left(\frac{n_2}{n_H}\right)_{пр}$ второго нагнетателя;

18 найти ε_2 и $\left(\frac{N_{i2}}{\rho_{в2}}\right)_{пр}$;

19 определить внутреннюю мощность N_{i2} [кВт], потребляемая нагнетателем второй ступени;

20 определить мощность на валу привода нагнетателя второй ступени N_2 [кВт];

21 определить давление газа на выходе из нагнетателя второй ступени P_{H2} ;

22 определить температуру газа на выходе из нагнетателя второй ступени T_{H2} .

Критерии оценивания

– оценка «отлично» ставится, если решение задачи (выполнение задания) правильное, описание хода ее решения подробное, последовательное, грамотное, с теоретическими обоснованиями (в т.ч. из лекционного курса), с необходимыми схематическими изображениями объекта расчета и их пояснением; при защите задачи студент правильно и свободно владеет терминологией, может объяснить ход решения задачи, дает верные и четкие ответы на дополнительные вопросы.

– оценка «хорошо» ставится, если решение задачи (выполнение задания) правильное, описание хода ее решения имеется, но недостаточно подробное и логичное, с единичными ошибками в деталях, некоторыми затруднениями в теоретическом обосновании (в т.ч. из лекционного материала), в схематических изображениях объекта расчета; при защите задачи студент владеет только основной терминологией, может объяснить ход решения задачи, дает верные, но недостаточно четкие и полные ответы на дополнительные вопросы.

– оценка «удовлетворительно» ставится, если решение задачи (выполнение задания) правильное, объяснение хода ее решения недостаточно полное, непоследовательное, с ошибками, слабым теоретическим обоснованием (в т.ч. лекционным материалом), со значительными затруднениями и ошибками в схематических изображениях объекта расчета; при защите задачи ответы на дополнительные вопросы недостаточно четкие, с ошибками в деталях.

– оценка «неудовлетворительно» ставится, если решение задачи (выполнение задания) неправильное, объяснение хода ее решения дано неполное, непоследовательное, с грубыми ошибками, без теоретического обоснования (в т.ч. лекционным материалом), без умения схематических изображений объекта расчета, или с большим количеством ошибок; при защите задачи ответы на дополнительные вопросы неправильные или отсутствуют.

Расчетно-графическая работа

На основании практических заданий и задач №№1...12 составить документ с названием «Расчетно-графическая работа», оформить в

соответствии с нормативными документами СФУ и предоставить на проверку преподавателю с последующей защитой.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

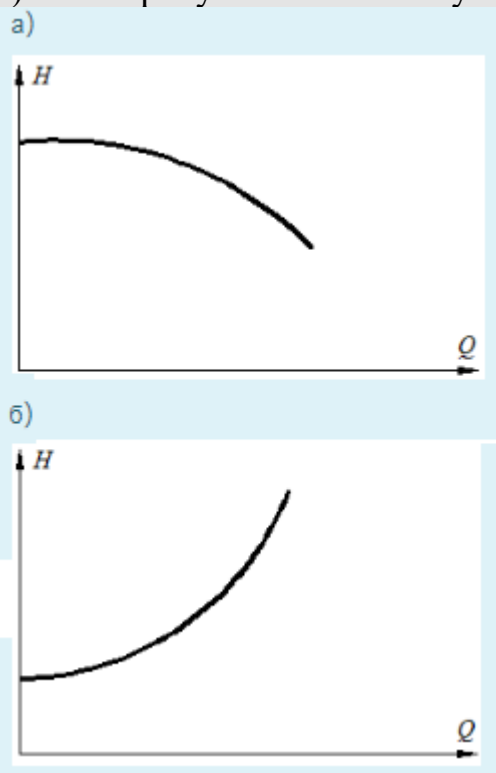
Защита расчетно-графической работы проводится в виде выполнения пяти заданий в письменно-устной форме. Студенту отводится время на ответ в письменном виде. После письменного ответа студент переходит к собеседованию с преподавателем, при котором возможны уточняющие вопросы.

Преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в практических заданиях, учитываются ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле.

Вопросы для защиты расчетно-графической работы:

1) Гидравлическая машина, в которой подводимая извне энергия преобразуется в энергию потока жидкости – это...? Ответ: насос

2) Какой рисунок соответствует характеристике насоса:



Ответ: а)

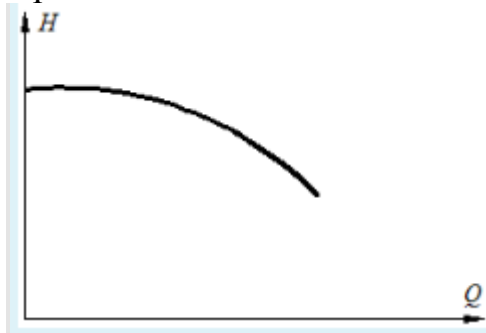
3) Что называется коэффициентом полезного действия насосного агрегата?

Ответ: отношение полезной мощности к потребляемой

4) Верное ли утверждение, что система, состоящая из насоса, привода и устройства для передачи крутящего момента от привода насосу, смонтированных на одной раме, это насосный агрегат?

Ответ: верно

5) Верно ли что на приведенном ниже рисунке представлена характеристика насоса?



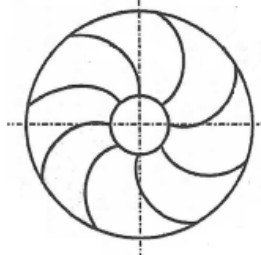
Ответ: верно

6) Выберите правильный ответ: в центробежных машинах основным рабочим органом является:

- 1) плунжер
- 2) диск
- 3) рабочее колесо
- 4) поршень

Ответ: 3)

7) В какую сторону будет вращаться рабочего колеса: по часовой стрелке или против часовой стрелки?



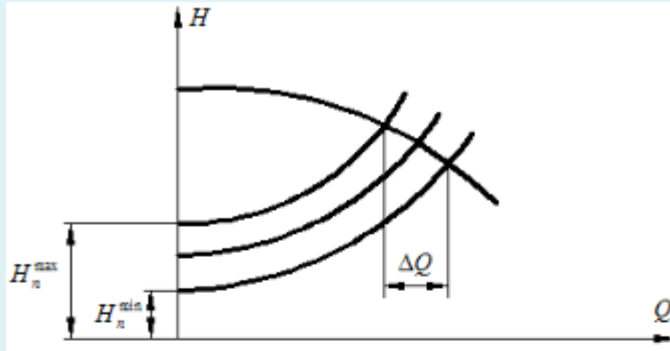
Ответ: по часовой стрелке

8) Какую частоту вращения ротора насоса имеют основные насосы НМ?

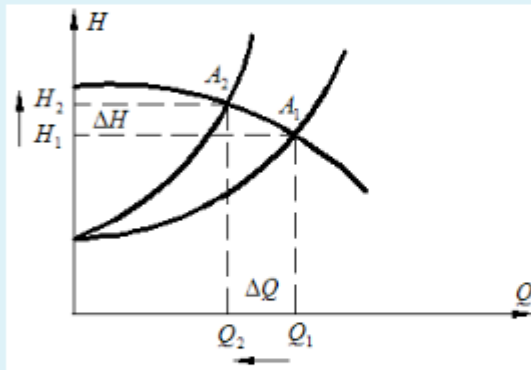
Ответ: 3000 об/мин

9) На каком рисунке изображен способ изменения характеристик сети – байпасирование?

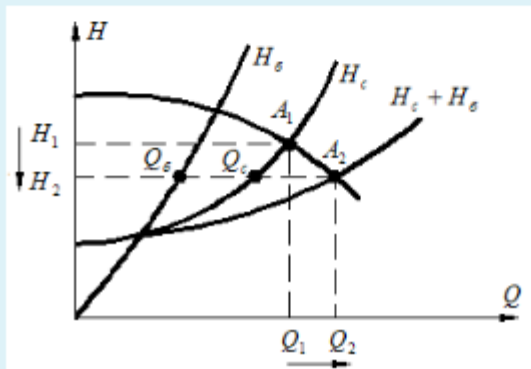
а)



б)



в)

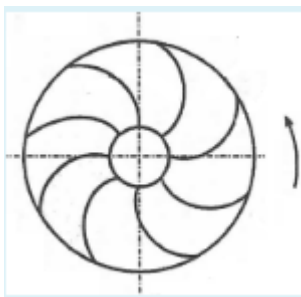


Ответ: в)

10) Каким номинальным напором, в метрах, обладает НМ 500-300?

Ответ: 300

11) Верно ли стрелка показывает направление вращения рабочего колеса?



Ответ: неверно

12) Для чего применяется параллельная перекачка?

Ответ: для увеличения подачи

13) Где указан набор графических характеристик, который позволяет выбирать гидравлическую машину и менять режим ее работы?

Ответ: в паспорте

14) Как надо подключить насосы, чтобы на выходе увеличить напор?

Ответ: последовательно

15) Как следует подключить насосы, чтобы на выходе увеличить подачу?

Ответ: параллельно

16) Сколько суток в году принимают за расчетное время работы нефтепровода в среднем, задавая годовой объем перекачки?

Ответ: 350

17) Выберите правильный ответ: изменение какого параметра не изображают на (Q-H)-характеристике насосов:

1) допустимой высоты всасывания

2) мощности

3) частоты вращения

4) КПД

5) напора

Ответ: 3)

18) Выберите правильный ответ: что называется секцией насоса ЦНС?

1) Кронштейны

2) Гидравлическая пята

3) Крышка с приемным патрубком

4) Рабочее колесо, направляющий аппарат и корпус направляющего аппарата

Ответ: 4)

19) Выберите правильный ответ: какой из указанных пунктов не является способом изменения характеристик насоса?

1) байпасирование

2) изменение числа оборотов

3) дросселирование

4) параллельное соединение насосов

5) замена рабочего колеса насоса на колесо другого диаметра

Ответ: 4)

20) Верно ли утверждение, что в объемных насосах передача энергии потоку происходит под влиянием сил, действующих на жидкость в рабочих полостях, постоянно соединенных с входом и выходом насоса?

Ответ: неверно

21) Выберите правильный ответ: неравномерность подачи характеризуется следующий тип компрессора?

- 1) поршневой
- 2) центробежный
- 3) осевой

Ответ: 1)

22) Насос, двигатель и устройство для передачи мощности от двигателя к насосу, собранные в единый узел – это?

Ответ: насосный агрегат

23) Что называется подачей или производительностью насоса?

Ответ: объем жидкости, перекачиваемый машиной (насосом) в единицу времени

24) Верно ли утверждение, что насос НМ 1800-240 выполнен в виде многоступенчатого секционного насоса с односторонним входом жидкости в рабочее колесо?

Ответ: неверно

25) Выберите правильный ответ: давление, развиваемое рабочим колесом центробежной машины, появляется в результате

- 1) преобразования кинетической энергии относительного движения и работы центробежных сил
- 2) работы центробежных сил
- 3) преобразования кинетической энергии относительного движения

Ответ: 1)

26) Как надо подключить насосы, чтобы на выходе увеличить напор?

Ответ: последовательно

27) На какие две группы делятся насосы по принципу действия?

Ответ: объемные и динамические

28) Верно ли утверждение, что насос НМ 1800-240 выполнен в виде одноступенчатого насоса с двухсторонним подводом жидкости к рабочему колесу?

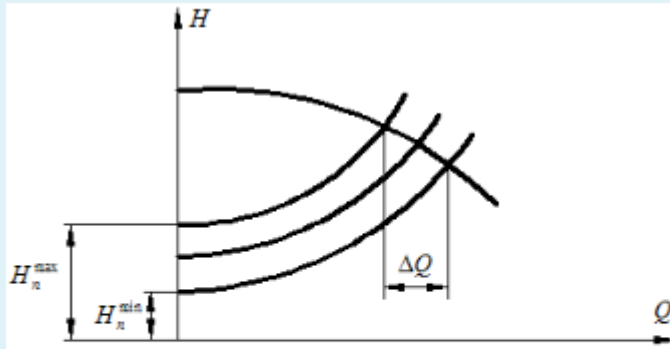
Ответ: верно

29) Какой вид топлива используется для работы газотурбинного привода?

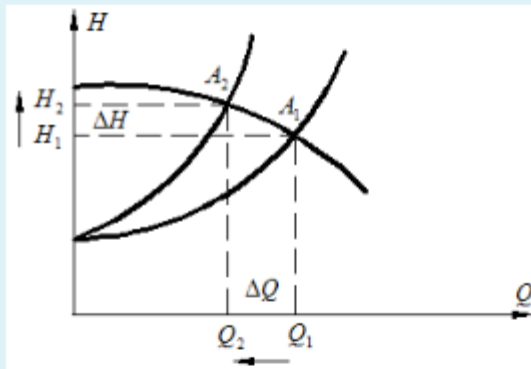
Ответ: перекачиваемый газ

30) На каком рисунке изображен способ изменения характеристик сети – дросселирование?

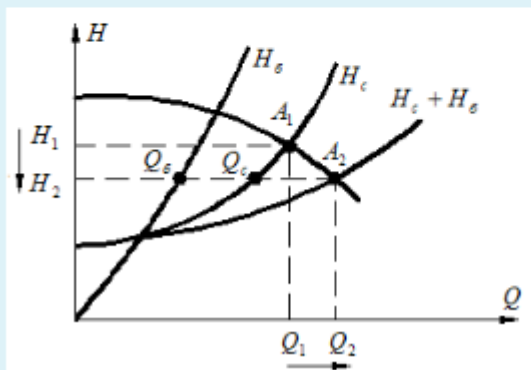
а)



б)



в)



Ответ: б)

31) Выберите правильный ответ: при отклонении частоты вращения насоса от номинальной, КПД насоса...?

- 1) уменьшается
- 2) изменяется пропорционально изменению частоты вращения
- 3) увеличивается

Ответ: 1)

32) Какую номинальную подачу [м³/ч] может обеспечить насос ЦНСН 90-1900?

Ответ: 90

33) Верно ли утверждение, что напор измеряется в МПа?

Ответ: неверно

34) Как надо подключить насосы, чтобы на выходе увеличить подачу?

Ответ: параллельно

35) Выберите несколько правильных ответов: при последовательной перекачке жидкости насосами...?

1) общая подача будет равна объему подачи двух насосов

2) производительность насосов должна быть одинаковой

3) общий напор насосов будет равен сумме напоров каждого насоса

4) по напору работа насосов должна быть одинаковой

Ответ: 2) и 3)

36) Если ставится задача компримировать газ с высокой степенью сжатия, какому виду ГПА вы отдадите предпочтение?

1) центробежным нагнетателям с приводом от электродвигателя

2) поршневым газоперекачивающим агрегатам

3) центробежным нагнетателям с приводом от газотурбинной установки

Ответ: 2)

37) Выберите правильный ответ: при увеличении напора в характеристиках динамических насосов подача:

1) остается неизменной

2) увеличивается

3) уменьшается

Ответ: 3)

38) Выберите правильный ответ: центробежный насос предназначен...?

1) для сброса избытка давления

2) для увеличения давления газа

3) для направления движения жидкости

4) для увеличения напора жидкости

Ответ: 4)

39) Выберите правильный ответ: при работе компрессоров наиболее распространенным является следующий тип термодинамического процесса...?

1) изотермический

2) адиабатный

3) политропный

Ответ: 3)

40) Какие из пунктов не являются способами изменения характеристик насосов?

- 1) перепуск части нефти из линии нагнетания в линию всасывания
- 2) изменение числа оборотов
- 3) замена рабочего колеса насоса на колесо другого диаметра
- 4) изменение потенциального напора
- 5) дросселирование

Ответ: 1), 4), 5)

41) Выберите правильный ответ: что называется подачей или производительностью насоса?

- 1) количество жидкости, перекачиваемой в единицу времени
- 2) максимальная высота столба жидкости, на которую центробежный насос способен поднять жидкость, работая на вертикальную трубу
- 3) мощность потребляемая электродвигателем
- 4) отношение полезной мощности к потребляемой мощности

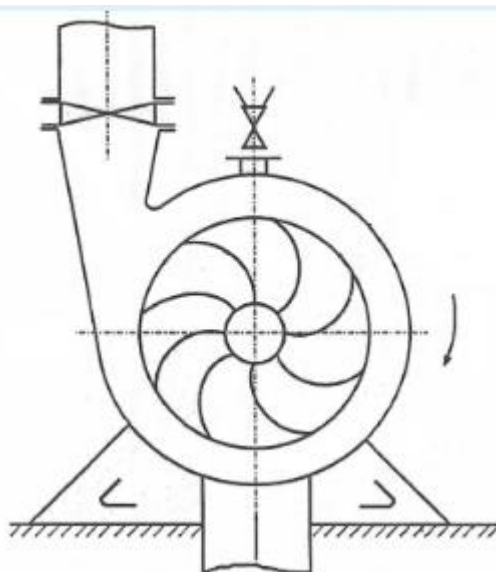
Ответ: 1)

42) Выберите правильный ответ: в каких единицах измеряется подача центробежного насоса?

- 1) киловатт
- 2) процент
- 3) куб.м / ч
- 4) м.вод.ст

Ответ: 3)

43) Верно ли стрелка указывает направление вращения рабочего колеса?



Ответ: верно

44) Если ставится задача компримировать газ с высокой производительностью, каким видам ГПА вы отдадите предпочтение?

- 1) центробежным нагнетателям с приводом от электродвигателя
- 2) поршневым газоперекачивающим агрегатам
- 3) центробежным нагнетателям с приводом от газотурбинной установки

Ответ: 1) и 3)

45) Выберите правильный ответ: при увеличении подачи выше номинальной, КПД насоса...?

- 1) уменьшается
- 2) не изменится
- 3) увеличивается

Ответ: 1)

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

- 1) Определение насоса и основные параметры насосов
- 2) Классификация насосов по принципу действия
- 3) Гидравлические характеристики насосов
- 4) Номинальный режим и рабочая часть насоса
- 5) Основы перерасчета характеристик насосов с воды на перекачиваемую жидкость
- 6) Конструкция и принцип работы центробежных насосов одноступенчатых с односторонним входом жидкости в рабочее колесо
- 7) Конструкция и принцип работы центробежных насосов многоступенчатых с односторонним входом жидкости в рабочее колесо
- 8) Конструкция и принцип работы центробежных насосов одноступенчатых с двухсторонним входом жидкости в рабочее колесо
- 9) Конструкция и принцип работы вихревых насосов
- 10) Конструкция и принцип работы струйного насоса.
- 11) Конструкция и принцип работы поршневых и плунжерных насосов
- 12) Конструкция и принцип работы мембранных насосов
- 13) Конструкция и принцип работы шестеренных насосов
- 14) Конструкция и принцип работы винтовых насосов
- 15) Шиберные (пластинчатые) насосы
- 16) Кавитация в насосах и определение допустимого кавитационного запаса
- 17) Совместная работа насосов на сеть
- 18) Параллельная работа насосов на сеть
- 19) Последовательная работа насосов на сеть
- 20) Схема насосного цеха блока технологической перекачки на УПН
- 21) Технологическая схема НПС
- 22) Магистральные насосные агрегаты НПС
- 23) Подпорные насосные агрегаты НПС
- 24) Основы подбора насосных агрегатов НПС

- 25 Основы подбора оборудования налива
- 26 Основы подбора типа ГПА на КС
- 27 Термодинамические основы процесса сжатия газов
- 28 Поршневые компрессоры
- 29 Центробежные компрессоры
- 30 Компрессорные станции с центробежными газотурбинными ГПА
- 31 Компрессорные станции с центробежными электроприводными ГПА
- 32 Компрессорные станции с поршневыми ГПА

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Экзамен проводится в письменно-устной форме по билетам.

Экзаменационный билет включает два вопроса из списка, приведенного выше.

Студенту отводится время на ответ в письменном виде. Допускается ответ в виде схем и рисунков. После письменного ответа студент переходит к собеседованию с преподавателем, при котором возможны дополнительные вопросы, как по билету, так и в целом из списка вопросов к экзамену. После собеседования преподаватель оценивает ответы студента по шкале: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».

Критерии оценивания

– «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач;

– «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения;

– «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ;

– «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

При наличии обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья, в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида оценочные средства выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Процедура проведения промежуточной аттестации с привлечением Комиссии ПА

Проведение промежуточной аттестации (ПА) с привлечением Комиссии ПА осуществляется в целях внутренней независимой оценки качества подготовки обучающихся. Во время проведения промежуточной аттестации по дисциплине с привлечением Комиссии ПА вопросы обучающимся имеет право задавать и оценивать результаты ответов обучающихся только педагогический работник, проводящий занятия по дисциплине.

Комиссия ПА присутствует в качестве наблюдателей во время проведения промежуточной аттестации по дисциплине и осуществляет оценку процедуры проведения промежуточной аттестации и оценку результатов промежуточной аттестации.

Оценка процедуры промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) осуществляется Комиссией ПА на основе анализа ФОС по следующим позициям:

- наличие рецензированного ФОС;
- наличие описания в ФОС процедуры проведения ПА с привлечением Комиссии ПА;
- соответствия оценочных материалов для проведения экзамена содержанию дисциплины и формируемым компетенциям.

Разработчик  Петров О. Н.