

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)  
**НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ**  
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)**

---

---



ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «ЮГУ»

**НЕФТЯНОЙ  
ИНСТИТУТ**

**МДК.02.01 ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО,  
НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ**  
специальность 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных  
и газовых месторождений

**Методические указания  
по выполнению практических занятий к теме 1 «Объемные насосы»  
для обучающихся 3 курса очной и заочной форм обучения  
образовательных организаций  
среднего профессионального образования**

**Нижневартовск, 2022**

**РАССМОТРЕНО**

На заседании ПЦК «ЭиБ»  
Протокол № 08 от 14.10.2022 г.  
Председатель Скобелева И.Е.

**УТВЕРЖДЕНО**

Председателем методического совета  
НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ»  
Хайбулина Р.И.  
«10» ноября 2022 г.

Методические указания по выполнению практических занятий к теме 1 «Объемные насосы» для обучающихся 3 курса очной и заочной форм обучения образовательных организаций среднего профессионального образования по МДК. 02.01 Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО, НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ), разработаны в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, утв. 12.05.2014 года.

2. Программой профессионального модуля ПМ.02 Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования по специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, утвержденной на методическом совете НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ» протокол № 4 от 31.08.2022 года.

Разработчик:

Скобелева Ирина Ефимовна, преподаватель Нефтяного института (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

Рецензенты:

1. Пилипчук А.Д., преподаватель высшей квалификационной категории НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

2. Кошкин О.А., начальник ПТО ООО «Пылинское».

Замечания, предложения и пожелания направлять в Нефтяной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» по адресу: 628615, Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ, г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Практические занятия являются основным видом учебной работы обучающегося по МДК 02.01 Эксплуатация нефтегазопромыслового оборудования и выполняются в пределах часов, предусмотренных учебным планом по специальности 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Методическая разработка содержит семь работ по теме 1 «Объемные насосы». Методические указания к каждой работе включают в себя цель, перечень образовательных результатов, заявленных во ФГОС СПО, порядок работы, краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме, вопросы для закрепления теоретического материала по темам.

Целями изучения междисциплинарного курса является формирование профессиональных компетенций обучающихся:

ПК 2.1. Выполнять основные технологические расчеты по выбору наземного и скважинного оборудования.

ПК 2.2. Производить техническое обслуживание нефтегазопромыслового оборудования

ПК 2.3. Осуществлять контроль за работой наземного и скважинного оборудования на стадии эксплуатации.

ПК 2.4. Осуществлять текущий и плановый ремонт нефтегазопромыслового оборудования.

ПК 2.5. Оформлять технологическую и техническую документацию по эксплуатации нефтегазопромыслового оборудования.

Практические занятия способствуют более глубокому пониманию теоретического материала междисциплинарного курса, а также развитию, формированию и становлению различных уровней составляющих профессиональной компетентности обучающихся.

### **Критерии оценки практических работ:**

Практическая работа считается выполненной, если обучающийся набрал проходной балл, который составляет половину максимального количества баллов. Для оценивания работы прилагается эталон и шкала оценок.

Оценка «5» – работа выполнена в полном объеме и без замечаний.

Оценка «4» – работа выполнена правильно с учетом 2-3 несущественных ошибок, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя.

Оценка «3» – работа выполнена правильно не менее чем на половину или допущена существенная ошибка.

Оценка «2» – допущены две (и более) существенные ошибки в ходе работы, которые студент не может исправить даже по требованию преподавателя или работа не выполнена.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Номер п/п	Номер и наименование работы (занятия)	Количество аудиторных часов	Формируемые компетенции
<b>ТЕМА 1. ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ</b>			
1.	Практическое занятие № 1. Расчёт основных параметров насоса*	2	ПК. 2.1, 2.5 ОК 4, 5
2.	Практическое занятие № 2. Расчет скорости и ускорения движения поршня*	4	ПК. 2.1, 2.5 ОК 4, 5
3.	Практическое занятие № 3. Расчёт и построение графика движения поршня*	4	ПК. 2.1, 2.5 ОК 4, 5
4.	Практическое занятие № 4. Воздушные колпаки. Расчет размеров воздушных колпаков поршневого насоса*	4	ПК. 2.1, 2.5
5.	Практическое занятие № 5. Работа насоса и индикаторная диаграмма	4	ОК 4, 5
6.	Практическое занятие № 6. Определение мощности привода поршневого насоса	2	ПК. 2.1, 2.5
7.	Практическое занятие № 7. Определение усилий на основные детали поршневых насосов. Расчётная схема поршневого насоса	4	ОК 4, 5

\*Использованы практические занятия, разработанные преподавателем ННТ, 2002 г.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

#### РАСЧЕТ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ

**Цель:** произвести расчет скорости и ускорения движения поршня.

**Порядок работы:**

1. Изучить и записать общие сведения.
2. Произвести расчет скорости и ускорения движения поршня.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите практической работы.

Исходные данные приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Исходные данные

Вариант	Число поршней $i$	Число рабочих камер $z$	Число двойных ходов поршня $n$ , мин <sup>-1</sup>	Длина хода поршня $S$ , м	Диаметр цилиндра $D$ , м	Давление нагнетания $P_n$ , Мпа	Диаметр штока $d$ , м
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1	3	3	135	0,25	0,18	8,5	0,060
2	3	3	120	0,25	0,12	25,0	0,060
3	3	3	135	0,25	0,18	11,3	0,065

1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	3	120	0,20	0,12	25,0	0,065
5	2	4	65	0,40	0,20	9,6	0,070
6	2	4	65	0,30	0,13	25,0	0,070
7	2	4	65	0,30	0,20	14,2	0,070
8	2	4	65	0,40	0,13	32,0	0,070
9	3	3	135	0,25	0,18	17,0	0,070
10	3	3	135	0,20	0,13	32,0	0,070
11	3	3	125	0,18	0,18	19,0	0,060
12	3	3	125	0,29	0,14	32,0	0,060
13	3	3	125	0,30	0,18	24,0	0,060
14	3	3	125	0,40	0,14	40,0	0,060
15	2	4	60	0,45	0,20	21,0	0,085
16	2	4	60	0,40	0,15	40,0	0,085
17	2	4	95	0,25	0,09	13,0	0,065
18	2	4	95	0,25	0,10	10,0	0,065
19	2	4	95	0,20	0,08	11,0	0,060
20	2	4	95	0,25	0,12	12,5	0,065
21	2	4	70	0,25	0,09	16,0	0,065
22	2	4	70	0,20	0,13	13,0	0,065
23	2	4	70	0,25	0,11	10,0	0,065
24	2	4	70	0,20	0,12	8,0	0,065
25	3	3	90	0,25	0,18	8,5	0,060
26	3	3	90	0,40	0,12	25,0	0,065
27	2	4	90	0,25	0,20	9,0	0,070
28	2	4	90	0,40	0,13	25,0	0,070
29	3	3	90	0,25	0,18	17,0	0,070
30	3	3	90	0,30	0,14	32,0	0,060

Коэффициент подачи насоса  $\eta_0 = 0,8$ ; полный КПД насоса  $\eta_n = 0,75$ .

**Общие сведения.** Согласно теории кривошипно-шатунных механизмов следует, что изменение мгновенной скорости движения поршня во времени с достаточной степенью приближения следует синусоидальному закону

$$v = r \cdot \omega \cdot \sin \alpha \quad \text{м/с}, \quad (1.1)$$

где  $r = S/2$  – радиус кривошипа, м;  
 $S$  – длина хода поршня, м;  
 $\omega = \pi n/30$  – угловая скорость вращения кривошипа, с<sup>-1</sup>;  
 $n$  – число двойных ходов поршня в минуту;  
 $\alpha = f(t)$  – угол поворота кривошипа, представляющий собой функцию времени  $t$ , град.

Следовательно, **скорость движения поршня** – величина переменная, изменяется по синусоиде (Рисунок 1.1, б); в мертвых положениях при  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 180^\circ$  скорость поршня равна нулю ( $\sin \alpha = 0$ ), т.к. он останавливается, чтобы изменить направление движения. Максимальное значение ско-

рость поршня приобретет при  $\alpha = 90^\circ$  и  $270^\circ$ , то есть при среднем положении поршня ( $\sin \alpha = 1$ ).

**Ускорение поршня** является первой производной от скорости по времени и определяется по формуле

$$u = r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha \quad \text{м/с}^2. \quad (1.2)$$

Из формулы следует, что ускорение поршня изменяется по косинусоиде (рис 1.1, в) и в противоположность скорости в мертвых положениях поршня (при  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 180^\circ$ ) будет иметь максимальное значение, причем во второй половине хода со знаком минус. Нулевое значение ускорение будет иметь при  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 270^\circ$ .

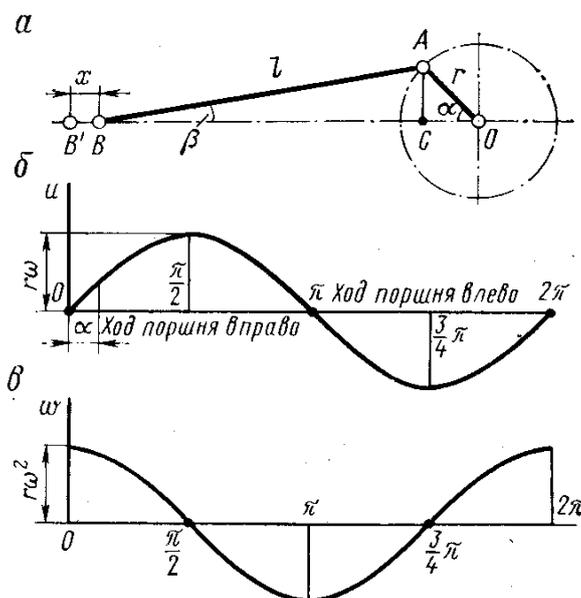


Рисунок 1.1. – Графики скорости и ускорения движения поршня

**Порядок выполнения расчетов:**

1. Определить скорость поршня по формуле 1.1. Для построения графика выбрать интервал угла поворота кривошипа  $30^\circ$  и рассчитать соответствующее каждому углу значение скорости. Данные занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Скорость движения поршня

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\alpha, ^\circ$	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$\sin \alpha$													
v, м/с													

Построить график скорости в осях v- $\alpha$ . Скорость отложить по оси ординат, угол поворота – по оси абсцисс (Рисунок 1.1, а).

2. Определить ускорение поршня по формуле 1.2. Аналогично п.1 заполнить таблицу 1.3 и построить график ускорения (Рисунок 1.1, б).

Таблица 1.3 - Ускорение движения поршня

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\alpha, ^\circ$													
$\cos \alpha$													
$a, \text{ м/с}^2$													

3. Сделать вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. По какому закону изменяется скорость и ускорение поршня?
2. Почему в «мертвых» положениях скорость поршня равна нулю?
3. Как определить графически и аналитически максимальное ускорение, и максимальную скорость поршня?
4. Каким углам поворота кривошипа соответствует нулевая скорость и нулевое ускорение?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВОГО НАСОСА

**Цель:** произвести расчет основных параметров поршневого насоса.

**Порядок работы:**

1. Изучить и записать общие сведения.
2. Произвести расчет основных параметров поршневого насоса.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите практической работы.

**Расчет выполняется по исходным данным ПЗ № 1** (см. табл. 1.1.).

**Общие сведения.** При расчетах различают теоретическую (идеальную) и действительную (фактическую) подачи. Теоретическая подача всегда больше действительной, так как не учитывает потери рабочего объема насоса на различные факторы. Подача зависит от конструкции насоса и определяется следующим образом:

**Одноцилиндровый насос простого действия**

$$Q_T = \frac{FSn}{60} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.1)$$

**Двухцилиндровый насос двойного действия**

$$Q_T = \frac{2(2F - f)Sn}{60} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.2)$$

**Трехцилиндровый насос простого действия**

$$Q_T = \frac{3FSn}{60} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.3)$$

где  $F$  – площадь поршня,  $\text{м}^2$ ;  
 $S$  – длина хода поршня,  $\text{м}$ ;  
 $n$  – число двойных ходов поршня в минуту;  
 $f$  – площадь штока,  $\text{м}^2$ .

Действительная подача всегда меньше теоретической вследствие запаздывания закрытия нагнетательного и всасывающего клапанов, утечек через клапаны, сальниковые и поршневые уплотнения, а также за счет выделения воздуха или газов из перекачиваемой жидкости. Поэтому действительная подача определяется по формуле:

$$Q_d = \eta_o Q_T \quad \text{м}^3/\text{с}, \quad (2.4)$$

где  $\eta_o$  – коэффициент подачи.

Величина коэффициента подачи зависит от размеров насоса и меняется в пределах 0,85 – 0,99.

Напор насоса зависит от давления нагнетания и определяется по формуле:

$$H = \frac{p_n}{\rho g} \quad \text{м}, \quad (2.5)$$

где  $p_n$  – давление нагнетания насоса,  $\text{Па}$ ;  
 $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Полезная мощность насоса  $N_n$  сообщаемая насосом перекачиваемой жидкости, пропорциональна подаче насоса, его давлению и определяется по формулам

$$N_n = p_n Q_T \quad \text{или} \quad N_n = Q_T H \rho g \quad \text{Вт}, \quad (2.6)$$

где  $Q$  – подача насоса  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $p_n$  – давление нагнетания,  $\text{Па}$ .

Эффективная мощность насоса, то есть мощность на валу, больше полезной мощности за счет различных потерь, происходящих в самом насосе. Эти потери учитываются коэффициентом полезного действия насоса. Эффективная мощность определяется по формуле

$$N_s = \frac{N_n}{\eta} \quad \text{Вт}, \quad (2.7)$$

где  $\eta = 0,8 - 0,9$  – полный КПД насоса.

Мощность приводного двигателя определяется с учетом возможных перегрузок и КПД передачи между двигателем и насосом по формуле

$$N_{\text{дв}} = \frac{kN_{\text{э}}}{\eta_{\text{п}}} \text{ Вт}, \quad (2.8)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий возможную перегрузку двигателя в процессе работы,  $k=1,1-1,25$ ;  
 $\eta_{\text{п}}$  – КПД передачи между двигателем и насосом  $\eta_{\text{п}} = 0,95 - 0,98$ .

#### **Порядок выполнения расчетов:**

1. В соответствии с исходными данными (по числу цилиндров и рабочих камер) определить тип насоса, нарисовать его схему и повторить принцип работы.
2. Определить параметры работы насоса:
  - действительную подачу (формулы 2.1 – 2.4);
  - напор насоса (формула 2.5);
  - мощность приводного двигателя (формулы 2.6 – 2.8).
3. Записать техническую характеристику насоса.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Почему подача поршневого насоса является величиной неравномерной?
2. Какие способы выравнивания подачи Вы знаете?
3. Как определить графически и аналитически максимальную подачу?
4. Каким углам поворота кривошипа соответствует нулевое значение подачи в одноцилиндровом насосе простого действия?
5. Что называется коэффициентом подачи насоса?
6. Почему теоретическая подача всегда больше действительной?
7. Какие факторы снижения подачи учитываются коэффициентом наполнения, а какие коэффициентом утечек?

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3**

### **РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ КОЛПАКОВ ПОРШНЕВОГО НАСОСА**

**Цель:** рассчитать размеры воздушных колпаков поршневых насосов.

#### **Порядок работы:**

1. Изучить и записать общие сведения.
2. Произвести расчет размеров воздушных колпаков.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите практической работы.

**Расчет выполняется по исходным данным ПЗ № 1 (см. табл. 1.1.).**

**Общие сведения.** Вследствие неравномерности движения поршня скорость жидкости, давление и подача поршневого насоса изменяются с течением времени. Следовательно, движение жидкости будет неустановившимся, а поэтому необходимо учитывать инерционный напор, который вызывает дополнительные сопротивления и удары в трубопроводах.

Для уменьшения неравномерности движения жидкости в трубопроводах устанавливают воздушные колпаки (пневмокомпенсаторы), которые предназначены для выравнивания скорости движения жидкости в трубопроводах и ослабления гидравлических ударов. Кроме того, установка воздушного колпака на всасывающем трубопроводе дает возможность увеличить высоту всасывания и подачу, а на напорном – уменьшить неравномерность подачи.

Воздушные колпаки (рис. 3.1.) устанавливают в непосредственной близости к камерам всасывания (всасывающий колпак) и нагнетания (нагнетательный колпак).

Расчет воздушных колпаков заключается в определении их высоты и диаметра.

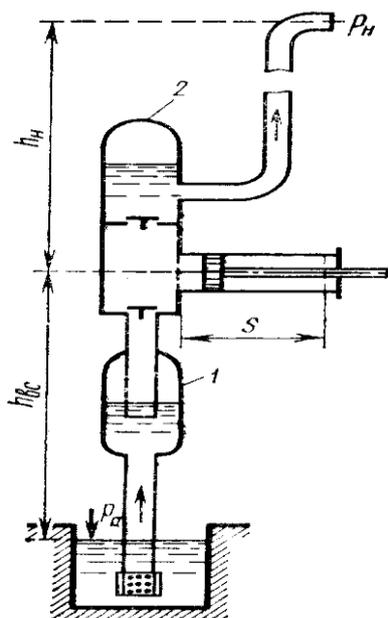


Рисунок 3.1 – Пневмокомпенсаторы (воздушные колпаки)  
1-всасывающий колпак; 2-нагнетательный колпак.

### Порядок выполнения расчета:

1. Определить средний объем воздушных колпаков, который зависит от конструкции насоса:

**Двухцилиндровый насос двойного действия**

$$V_{\text{ср.в}} = 0,042 F S / \delta_{\text{в}} \text{ м}^3, \quad (3.1)$$

$$V_{\text{ср.н}} = 0,042 F S / \delta_{\text{н}} \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

## Трехцилиндровый насос одинарного действия

$$V_{\text{ср.в}} = 0,009 F S / \delta_{\text{в}} \text{ м}^3, \quad (3.3)$$

$$V_{\text{ср.н}} = 0,009 F S / \delta_{\text{н}} \text{ м}^3, \quad (3.4)$$

где  $V_{\text{ср.в}}$  – средний объем колпака на всасывании;  
 $V_{\text{ср.н}}$  – средний объем колпака на нагнетании;  
 $F$  – площадь поршня,  $\text{м}^2$ ;  
 $S$  – длина хода поршня,  $\text{м}$ ;  
 $\delta_{\text{в}}$  – степень неравномерности давления в колпаке на всасывании,  
 $\delta_{\text{в}} = 0,04$ ;  
 $\delta_{\text{н}}$  – степень неравномерности давления в колпаке на нагнетании,  
 $\delta_{\text{н}} = 0,02$ .

2. Определить средний объем сжатого воздуха в колпаках на всасывании и нагнетании

$$V'_{\text{ср.в}} = 1,7V_{\text{ср.в}} \text{ м}^3, \quad (3.5)$$

$$V'_{\text{ср.н}} = 1,7V_{\text{ср.н}} \text{ м}^3. \quad (3.6)$$

3. Определить объем колпаков на всасывании и нагнетании

$$V_{\text{к.в}} = 1,5 V'_{\text{ср.в}} \text{ м}^3, \quad (3.7)$$

$$V_{\text{к.н}} = 1,5 V'_{\text{ср.н}} \text{ м}^3. \quad (3.8)$$

4. Определить высоту колпаков

$$H_{\text{к.в}} = \frac{4V_{\text{к.в.}}}{\pi D_{\text{к.в.}}} \text{ м}, \quad (3.9)$$

$$H_{\text{к.н}} = \frac{4V_{\text{к.н.}}}{\pi D_{\text{к.н.}}} \text{ м}, \quad (3.10)$$

где  $D_{\text{к.в.}}$  и  $D_{\text{к.н}}$  – диаметры всасывающего и нагнетательного колпаков соответственно,  $D_{\text{к.в.}} = 0,3H_{\text{к.в.}}$  и  $D_{\text{к.н}} = 0,3H_{\text{к.н.}}$ .

### Контрольные вопросы:

1. Назначение воздушных колпаков?
2. Конструкция и принцип работы воздушных колпаков?
3. Где устанавливают воздушные колпаки?
4. От каких параметров насоса зависят размеры воздушного колпака?
5. Для чего в воздушных колпаках устанавливают резиновую диафрагму?
6. Как выбирают размеры резиновой диафрагмы?
7. Почему воздушные колпаки называют пневмокомпенсаторами?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

### РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ПОДАЧИ ПОРШНЕВОГО НАСОСА

**Цель:** рассчитать подачу поршневого насоса и построить график подачи объекта расчета.

**Порядок работы:**

1. Изучить и записать общие сведения.
2. Произвести расчет подачи поршневого насоса. Построить график подачи поршневого насоса.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите практической работы.

**Расчет выполняется по исходным данным ПЗ № 1** (см. табл.1.1.).

**Общие сведения.** Подача поршневого насоса является величиной непостоянной, так как непостоянна скорость движения поршня, что обусловлено кинематикой кривошипно-шатунного механизма.

Графическое изображение подачи насоса в зависимости от угла поворота кривошипа называется **графиком подачи**. При построении графика рассматривают мгновенную, среднюю и максимальную подачи.

**Мгновенной** называется подача одной рабочей камеры в любой момент работы поршневого насоса.

**Средней** называется подача, которую имел бы насос, если бы он равномерно подавал жидкость.

График подачи дает возможность представить последовательность процессов всасывания и нагнетания, а также оценить **степень неравномерности подачи**, то есть установить, во сколько раз максимальная подача превосходит среднюю.

Степень неравномерности подачи — это важнейший показатель, характеризующий схему насоса объемного действия.

Коэффициент неравномерности подачи жидкости для некоторых насосов имеет следующие значения:

одноцилиндровый насос одинарного действия	- 3,14;
одноцилиндровый насос двойного действия	- 1,57;
двухцилиндровый насос двойного действия	- 1,4;
трехцилиндровый насос одинарного действия	- 1,047;
пятицилиндровый насос одинарного действия	- 1,021.

Поршневые насосы с нечетным числом цилиндров более совершенны, так как обеспечивают более равномерную подачу жидкости. Увеличение числа цилиндров больше трех нерационально, поскольку достигаемый эффект незначителен, а конструкция насоса резко усложняется.

**Порядок расчета:**

1. Построить график мгновенной подачи одной рабочей камеры насоса (рис. 4.1.).

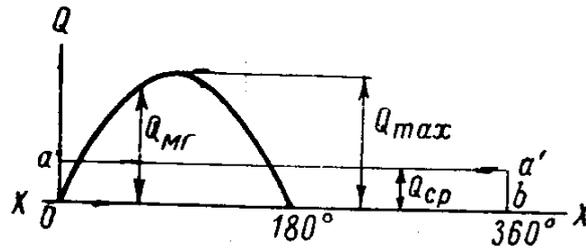


Рисунок 4.1. – График подачи одной рабочей камеры поршневого насоса

Для построения графика выбрать интервал угла поворота кривошипа  $30^\circ$  и рассчитать соответствующее каждому углу значение подачи по формуле 4.1. Расчетные данные занести в таблицу 4.1.

$$Q_m = F r \omega \sin \alpha ; \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (4.1)$$

где  $F$  – площадь поршня,  $\text{м}^2$ ;  
 $r$  – радиус кривошипа,  $\text{м}$ ;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения кривошипа,  $\text{с}^{-1}$ .

Таблица 4.1 - Расчетные данные мгновенной подачи

Параметр	1	2	3	4	5	6	7
$\alpha^\circ$	0	30	60	90	120	150	180
$\sin \alpha$							
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$							

2. Построить общий график подачи насоса, который будет зависеть от типа насоса.

Для **двухцилиндрового насоса двойного действия** общий график будет образован четырьмя синусоидами, сдвинутыми на  $90^\circ$  (рис. 4.2.)

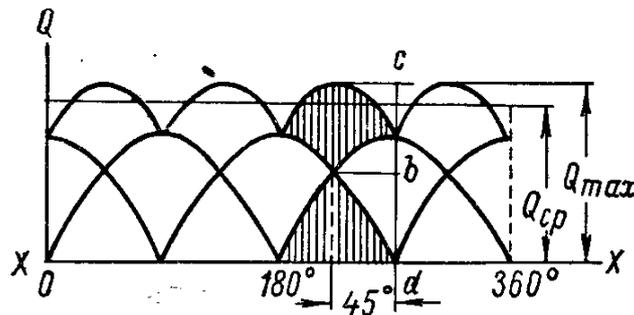


Рисунок 4.2. – График подачи двухцилиндрового насоса двойного действия

Для **трехцилиндрового насоса простого действия** график будет образован тремя синусоидами, сдвинутыми на  $120^\circ$  (рис. 4.3.)

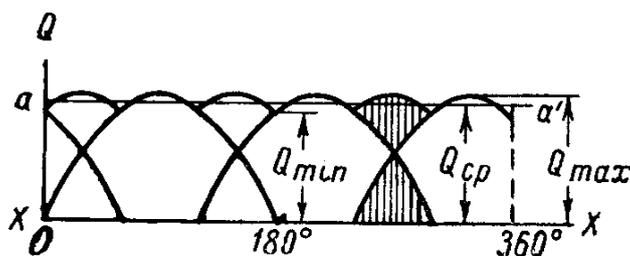


Рисунок 4.3. – График подачи трехцилиндрового насоса простого действия

3. Для определения максимальной подачи просуммировать ординаты подач и построить замкнутую кривую (Рисунок 4.2. и 4.3.).

4. Определить среднюю подачу поршневого насоса:

**Трехцилиндровый насос простого действия:**

$$Q_{cp} = 3 F S n / 60 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (4.2)$$

**Двухцилиндровый насос двойного действия:**

$$Q_{cp} = 4 F S n / 60 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (4.3)$$

где  $n$  – число двойных ходов поршня в минуту.

5. Определить графическую степень неравномерности подачи насоса:

$$m_{\Gamma} = Q_{\max.\Gamma} / Q_{cp}, \quad (4.4)$$

где  $Q_{\max.\Gamma}$  – максимальная подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$  (определяется по графику измерением).

6. Определить аналитически максимальную подачу:

**Двухцилиндровый насос двойного действия**

$$Q_{\max.a} = 2 F r \omega \sin 45^0 \text{ м}^3/\text{с,} \quad (4.5)$$

**Трехцилиндровый насос простого действия**

$$Q_{\max.a} = 2 F r \omega \sin 30^0 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (4.6)$$

7. Определить аналитическую степень неравномерность подачи насоса:

$$m_a = Q_{\max.a} / Q_{cp}. \quad (4.7)$$

Если график и расчеты выполнены правильно, то должно сохраняться условие:

$$m_a = m_{\Gamma}.$$

8. Сделать вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется коэффициентом подачи насоса?
2. Что называется степенью неравномерности подачи?
3. Как степень неравномерности подачи характеризует совершенство насоса?
4. Какие конструкции объемных насосов имеют более равномерную подачу?
5. Что называется средней подачей насоса?
6. Как определить максимальную подачу насоса?

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5**

### **РАБОТА НАСОСА И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА**

**Цель:** изучить условия работы насоса объемного действия и индикаторная диаграмма

**Порядок работы:**

1. Изучить краткие теоретические сведения.
2. Записать:
  - формулу работы насоса;
  - давления, действующие во всасывающем трубопроводе;
  - определение высоты всасывания и нагнетания на практике;
  - назначение индикатора и его конструкция;
  - работа индикатора;
  - формула индикаторной работы и мощности.
3. Зарисовать схему 1.6 и 1.7 (б);
4. Сделать вывод по работе.

Источник: Молчанов А.Г., Чичеров В.Л. Нефтепромысловые машины и механизмы. с 16-21.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВОДА ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ**

**Цель:** научиться определять мощность двигателей привода поршневых насосов для бурения скважины.

**Порядок работы:**

1. Определить мощность двигателей привода поршневых насосов для бурения скважины.
2. Сделать вывод по работе.

Таблица 6.1 - Исходные данные

Показатель	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Глубина скважины, Н, м	3000	2500	2500	2300	2800	3000	2900	3200
Диаметр долота, $D_d$ , мм	295	295	245	270	295	295	245	270
Диаметр бурильных труб, $D$ , мм	127	114	140	114	168	127	114	140
Толщина стенки БТ, $\delta$ , мм	9	8	9	8	9	8	9	8
Осевая нагрузка на долото, $G$ , тс	15	14	13	12	11	17	16	18
Длина УБТ, $l_y$ , м	10,0	10,5	11,0	9,5	11,2	11,5	9,8	9,6
Производительность насосов, $Q$ , л/с	30	28	26	25	31	32	36	29
Скорость вращения вала турбобура, $n$ , об/мин	500	490	480	510	515	465	523	510
Плотность бурового раствора, $\rho_{г.р.}$ , г/см <sup>3</sup>	1,2	1,15	1,18	1,21	1,19	1,18	1,19	1,2
Число оборотов стола ротора, $n_p$ , об/мин	200	210	195	198	216	215	212	189

Продолжение табл. 6.1

Показатель	№ варианта							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Глубина скважины, Н, м	3300	3400	3050	3100	3000	2500	2500	2300
Диаметр долота, $D_d$ , мм	295	295	270	295	295	295	245	270
Диаметр бурильных труб, $D$ , мм	114	168	114	168	127	114	140	114
Толщина стенки БТ, $\delta$ , мм	9	8	9	8	9	8	9	8
Осевая нагрузка на долото, $G$ , тс	15,5	16,5	14	15	15	14	13	12
Длина УБТ, $l_y$ , м	8,9	10,3	10,0	10,5	10,0	10,5	11,0	9,5
Производительность насосов, $Q$ , л/с	33	34	32	33	30	28	26	25
Скорость вращения вала турбобура, $n$ , об/мин	495	485	500	515	500	490	480	510
Плотность бурового раствора, $\rho_{г.р.}$ , г/см <sup>3</sup>	1,2	1,3	1,25	1,28	1,2	1,15	1,18	1,21
Число оборотов стола ротора, $n_p$ , об/мин	219	202	200	205	200	210	195	198

Продолжение табл. 6.1

Показатель	№ варианта								
	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Глубина скважины, Н, м	2800	3000	2900	3200	3300	3400	3050	3100	3920
Диаметр долота, $D_d$ , мм	295	295	245	270	295	295	270	295	270
Диаметр бурильных труб, $D$ , мм	168	127	114	140	114	168	114	168	127
Толщина стенки БТ, $\delta$ , мм	9	8	9	8	9	8	9	8	7
Осевая нагрузка на долото, $G$ , тс	11	17	16	18	15,5	16,5	14	15	13
Длина УБТ, $l_y$ , м	11,2	11,5	9,8	9,6	8,9	10,3	10,0	10,5	10,3
Производительность насосов, $Q$ , л/с	31	32	36	29	33	34	32	33	30
Скорость вращения вала турбобура, $n$ , об/мин	515	465	523	510	495	485	500	515	505
Плотность бурового раствора, $\rho_{г.р.}$ , г/см <sup>3</sup>	1,19	1,18	1,19	1,2	1,2	1,3	1,25	1,28	1,12
Число оборотов стола ротора, $n_p$ , об/мин	216	215	212	189	219	202	200	205	200

**Порядок расчета:**

1. Мощность двигателей для привода насосов при турбинном способе бурения определяется по формуле:

$$N_{np.n} = \frac{N_{\delta} + N_{z.n}}{\eta_n}, \text{ кВт} \quad (6.1)$$

где  $\eta_n$  – полный КПД насоса;  
 $N_{\delta}$  – мощность, затрачиваемая на разрушение породы долотом, кВт;  
 $N_{г.п}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление гидравлических сопротивлений в циркуляционной системе, кВт.

2.  $N_{\delta}$  – мощность, затрачиваемая на разрушение породы долотом, кВт, определяется по формуле:

$$N_{\delta} = 34,2 \cdot 10^{-4} \cdot K \cdot G \cdot D_{\delta} \cdot n, \text{ кВт} \quad (6.2)$$

где  $K$  – коэффициент для шарошечного долота,  $K = 0,1$ ;  
 $G$  – осевая нагрузка на долото, тс;  
 $D_{\delta}$  – диаметр долота, см;  
 $n$  – скорость вращения вала турбобура, об/мин.

3.  $N_{г.п}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление гидравлических сопротивлений в циркуляционной системе.  $N_{г.п}$  определяется по формуле:

$$N_{z.n} = \frac{p \cdot Q}{10,2}, \text{ кВт} \quad (6.3)$$

4.  $p$  – давление нагнетания буровых насосов, кгс/см<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$p = p_m + p_{тр} + p_z + p_y + p_d + p_{п.т} + p_t + p_{к.п}, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.4)$$

5.  $p_m$  – потери давления в манифольде, кгс/см<sup>2</sup>, определяются по формуле:

$$p_m = a_m \cdot \rho_{г.р} \cdot Q^2, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.5)$$

где  $a_m$  – коэффициент потерь давления в манифольде,  $a_m = 340 \cdot 10^{-5}$ ;  
 $\rho_{г.р}$  – плотность бурового раствора, г/см<sup>3</sup>;  
 $Q$  – производительность насосов, л/с.

6.  $p_{тр}$  – потери давления в бурильных трубах определяются по формуле:

$$p_{тр} = a_{тр} \cdot \rho_{г.р} \cdot Q^2 \cdot L, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.6)$$

где  $a_{тр}$  – коэффициент потерь давления в БТ,  $a_{тр} = 610 \cdot 10^{-8}$ ;  
 $L$  – длина бурильной колонны,  $L = H - l_y$ , м.

7.  $p_z$  – потери давления в замковых соединениях бурильных труб определяются по формуле:

$$p_3 = a_3 \cdot \rho_{\text{г.л.р}} \cdot Q^2 \cdot \frac{L}{l}, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.7)$$

где  $a_3$  – коэффициент потерь давления в замковом соединении,  
 $a_3 = 2,2 \cdot 10^{-5}$ ;  
 $l$  – длина одной бурильной трубы,  $l = 10$  м.

8.  $p_y$  – потери давления в УБТ определяются по формуле:

$$p_y = a_{\text{УБТ}} \cdot \rho_{\text{г.л.р}} \cdot Q^2 \cdot l_y, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.8)$$

где  $a_{\text{УБТ}}$  – коэффициент потерь давления в УБТ,  $a_3 = 2,24 \cdot 10^{-5}$ .

9.  $p_d$  – потери давления в промывочных отверстиях долота определяются по формуле:

$$p_d = a_d \cdot \rho_{\text{г.л.р}} \cdot Q^2, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.9)$$

где  $a_d$  – коэффициент потерь давления в промывочных отверстиях,  
 $a_d = 414 \cdot 10^{-5}$ .

10.  $p_{\text{п.т}}$  – потери давления в верхнем узле турбобура определяются по формуле:

$$p_{\text{п.т}} = a_{\text{п.т}} \cdot \rho_{\text{г.л.р}} \cdot Q^2, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.10)$$

где  $a_{\text{п.т}}$  – коэффициент потерь давления в верхнем узле турбобура,  
 $a_{\text{п.т}} = 170 \cdot 10^{-5}$ .

11.  $p_T$  – перепад давления в турбобуре при данной производительности насосов определяется по формуле:

$$p_T = A_p \cdot \rho_{\text{г.л.р}} \cdot Q^2, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.11)$$

где  $A_p$  – коэффициент перепада давления в турбобуре,  $A_p = 0,021$ .

12.  $p_{\text{к.п}}$  – потери давления в кольцевом пространстве определяются по формуле:

$$p_{\text{к.п}} = a_{\text{к.п}} \cdot \rho_{\text{г.л.р}} \cdot Q^2 \cdot L, \text{ кгс/см}^2 \quad (6.12)$$

где  $a_{\text{к.п}}$  – коэффициент потерь давления в кольцевом пространстве,  
 $a_{\text{к.п}} = 50 \cdot 10^{-8}$ .

13. Полный КПД насоса определяем по формуле:

$$\eta_n = \eta_g \cdot \alpha \cdot \eta_m \quad (6.13)$$

где  $\eta_g$  и  $\eta_m$  – соответственно гидравлический и механический КПД насоса;  
 $\alpha$  – коэффициент подачи насоса.

При расчетах для нормальных условий бурения можно принять  $\eta_g = 0,98 - 0,99$ ;  $\eta_m = 0,81 - 0,84$ ;  $\alpha = 0,75 - 0,85$ .

**Порядок выполнения работы:**

1. Мощность, затрачиваемая на разрушение породы долотом  $N_d$ , кВт, определяем по формуле 6.2.
2. Потери давления в манифольде определяем по формуле 6.5.
3. Потери давления в бурильных трубах определяем по формуле 6.6.
4. Потери давления в замковых соединениях бурильных труб определяются по формуле 6.7.
5. Потери давления в УБТ определяются по формуле 6.8.
6. Потери давления в промывочных отверстиях долота определяются по формуле 6.9.
7. Потери давления в верхнем узле турбобура определяются по формуле 6.10.
8. Перепад давления в турбобуре при данной производительности насосов определяется по формуле 6.11.
9. Потери давления в кольцевом пространстве определяются по формуле 6.12.
10. Полный КПД насоса определяем по формуле 6.13.
11. Давление нагнетания буровых насосов определяется по формуле 6.4.
12. Далее определяем мощность, затрачиваемую на преодоление гидравлических сопротивлений в циркуляционной системе по формуле 6.3.
13. Мощность двигателей для привода насосов при турбинном способе бурения определяем по формуле 6.1.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ НА ОСНОВНЫЕ ДЕТАЛИ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ПОРШНЕВОГО НАСОСА

**Цель:** изучить методику расчета усилий и расчетную схему насоса

**Порядок работы:**

1. Изучить краткие теоретические сведения.
2. Записать методику расчета усилий
3. Зарисовать схему 7.1.
4. Сделать вывод по работе.

**Краткие теоретические сведения:**

Гидравлическую часть насоса рассчитывают на прочность по давлению

нию опрессовки, а механическую - по усилиям, действующим в его элементах при наибольшем крутящем моменте, развиваемом приводным двигателем.

Давление опрессовки принимают вдвое большим, чем максимальное, развиваемое насосом. Гидравлическая часть насоса должна быть рассчитана таким образом, чтобы при закупорке напорной линии и несрабатывании предохранительного клапана произошла остановка двигателя, а не поломка насоса.

Клапанные коробки и цилиндры рассчитывают на прочность по формуле:

$$r_{нар} = r_{сн} \sqrt{\frac{[\sigma] + 0,4p}{[\sigma] - 1,3p}}, \quad (7.1)$$

где  $p$  – давление опрессовки;  
 $[\sigma]$  – допустимые напряжения растяжения.

Шпильки, крепящие крышки цилиндров, рассчитывают с учетом предварительной затяжки, обеспечивающей герметичность стыка. Шток рассчитывается на растяжение - сжатие. Кроме этого, шток проверяется на устойчивость. Для определения критического усилия  $P_{кр}$  на шток используют формулу Эйлера:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2}, \quad (7.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент приведенной длины, принимается равным 0,5;  
 $l$  – действительная длина стержня;  
 $E$  – модуль упругости первого рода;  
 $I$  – момент инерции сечения.

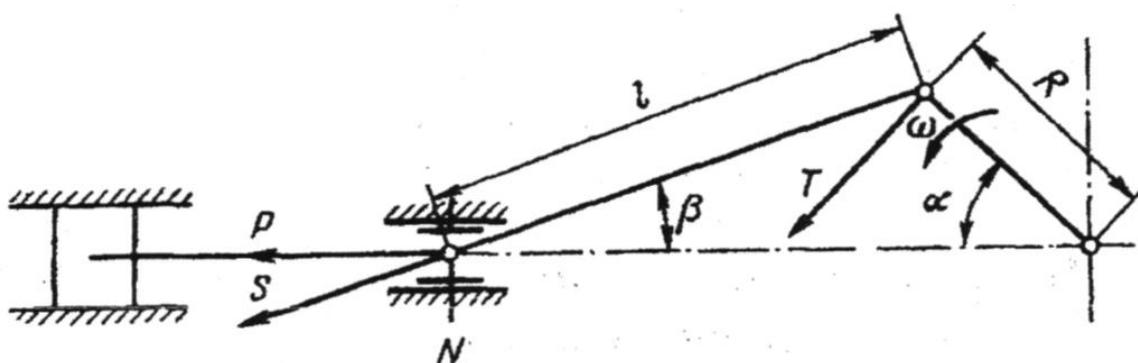


Рисунок 7.1. – Расчетная схема поршневого насоса

Детали кривошипно-шатунной группы рассчитывают общепринятыми методами на полную долговечность насоса. Силы, действующие в кривошипно-шатунной группе (рис. 7.1), определяют следующим образом.

Сила, действующая вдоль шатуна, рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{P + Gf}{\cos \beta}, \quad (7.3)$$

где **P** – усилие, действующее на шток;  
**G** – масса ползуна и 1/3 шатуна;  
**f** – коэффициент трения ползуна о направляющие.

Сила **S** достигает максимального значения при максимальном угле  $\beta$ . Так как у большинства насосов  $r/l = 0,2$ , соответственно  $\cos \beta = 0,98$ , то для упрощения расчета можно принять

$$S = P + Gf,$$

Силу **S** можно разложить на тангенциальную силу **T**, направленную по касательной к окружности, и нормальную силу **N**, направленную вдоль кривошипа.

Пренебрегая углом  $\beta$  ввиду его малости, получим:

$$T = S \sin \alpha,$$

т.е. тангенциальная составляющая изменяется по синусоидальной зависимости. Полученную формулу применяют для расчета одноцилиндровых насосов.

Для многоцилиндровых насосов тангенциальная сила может быть найдена сложением графиков, характеризующих изменения тангенциальных сил, полученных для каждого цилиндра с учетом их сдвига по фазе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серeda Н. Г. Спутник нефтяника и газовика: Справочник. - М.: Альянс, 2019. - 326 с.
2. Серeda Н. Г. Основы нефтяного и газового дела. - М.: Альянс, 2019. - 288 с.
3. Покрепин Б. В. Эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (МДК.01.02): учеб. пособие - Ростов н/Д: Феникс, 2018. - 605 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ</b> .....	4
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСОСА</b> .....	4
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. РАСЧЕТ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ</b> .....	7
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ</b> .....	9
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. ВОЗДУШНЫЕ КОЛПАКИ. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ КОЛПАКОВ ПОРШНЕВОГО НАСОСА*</b>	12
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. РАБОТА НАСОСА И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА</b>	15
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ПОРШНЕВОГО НАСОСА</b>	15
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ НА ОСНОВНЫЕ ДЕТАЛИ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ. РАСЧЁТНАЯ СХЕМА ПОРШНЕВОГО НАСОСА</b>	19
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	21

# **МДК.02.01 ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО,  
НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ**  
специальность 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных  
и газовых месторождений

**Методические указания  
по выполнению практических занятий к теме 1 «Объемные насосы»  
для обучающихся 3 курса очной и заочной форм обучения  
образовательных организаций  
среднего профессионального образования**

Методические указания  
разработал преподаватель: Скобелева Ирина Ефимовна

Подписано к печати *10.11.2022 г.*

Формат 60x84/16

Тираж

Объем *1,4* п.л.

Заказ

*1 экз.*

---

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)  
**НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ**  
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
628615 Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ,  
г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.