



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.

Носс



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИГДиТ  
\_\_\_ И.А. Пыталев

07.02.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ГИДРОМЕХАНИКА***

Направление подготовки (специальность)  
21.05.04 Горное дело

Направленность (профиль/специализация) программы  
Подземная разработка рудных месторождений

Уровень высшего образования - специалитет

Форма обучения  
очная

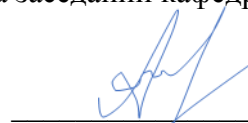
|                     |                                                       |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| Институт/ факультет | Институт горного дела и транспорта                    |
| Кафедра             | Горных машин и транспортно-технологических комплексов |
| Курс                | 3                                                     |
| Семестр             | 5                                                     |

Магнитогорск  
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - специалитет по специальности 21.05.04 Горное дело (приказ Минобрнауки России от 12.08.2020 г. № 987)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических комплексов  
28.01.2025, протокол № 6

Зав. кафедрой



А.И. Курочкин

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИГДиТ  
07.02.2025 г. протокол № 4

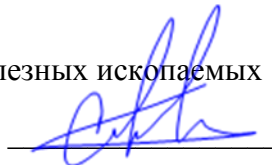
Председатель



И.А. Пыталев

Согласовано:

Зав. кафедрой Разработки месторождений полезных ископаемых



С.Е. Гавришев

Рабочая программа составлена:

ст.препод. кафедры ГМиТТК, к. т. н.



А.М.Филатов

Рецензент:

Зам. начальника КРЦ-2 ООО "ОСК",



С.В. Немков

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.И. Курочкин

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.И. Курочкин

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.И. Курочкин

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.И. Курочкин

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2030 - 2031 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.И. Курочкин

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2031 - 2032 учебном году на заседании кафедры Горных машин и транспортно-технологических

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.И. Курочкин

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является:

- изучение и овладение студентами знаний законов гидростатики и гидродинамики и реализации их в гидроприводах горных машин и оборудовании,
- овладение навыками выполнения экспериментальных и лабораторных исследований, интерпретации полученных результатов, составления и защиты отчетов по проделанной работе,
- овладение достаточным уровнем профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.05.04 Горное дело специализация Подземная разработка рудных месторождений.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Гидромеханика входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Горные машины и оборудование

Физика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Автоматизация и электрификация горного производства

Выполнение, подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Гидромеханика» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-3           | Способен разрабатывать и доводить до исполнителей наряды и задания на выполнение подземных горных, горно-строительных и буровзрывных работ, осуществлять контроль качества работ и обеспечивать правильность выполнения их исполнителями, составлять графики работ и перспективные планы, инструкции, сметы, заявки на машины и оборудование, заполнять необходимые отчетные документы в соответствии с установленными формами |
| ПК-3.1         | Способен планировать и организовывать горные работы по строительству вскрывающих, подготовительных, очистных и нарезных горных выработок, вести очистные работы, организовывать транспорт и подъем горной массы, вентиляцию, водоотлив и другие вспомогательные процессы подземных горных работ                                                                                                                                |
| ПК-3.2         | Осуществляет контроль качества подземных горных работ и обеспечивать правильность выполнения их исполнителями, составлять графики организации работ, перспективные планы горных работ, инструкции и сметы и другую руководящую документацию                                                                                                                                                                                    |
| ПК-3.3         | Оформляет заявки на машины, материалы и оборудование, получение взрывчатых веществ и средств инициирования, заполнять необходимые отчетные документы в соответствии с установленными формами, нормами и правилами.                                                                                                                                                                                                             |

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 76,1 акад. часов;
- аудиторная – 72 акад. часов;
- внеаудиторная – 4,1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 32,2 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

| Раздел/ тема дисциплины                                                                                                                    | Семестр | Аудиторная контактная работа (в акад. часах) |           |             | Самостоятельная работа студента | Вид самостоятельной работы                                                                                                                                   | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации                                     | Код компетенции        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----------|-------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|                                                                                                                                            |         | Лек.                                         | лаб. зан. | практ. зан. |                                 |                                                                                                                                                              |                                                                                                     |                        |
| 1. Тема 1                                                                                                                                  |         |                                              |           |             |                                 |                                                                                                                                                              |                                                                                                     |                        |
| 1.1 Жидкость и ее физические свойства. Силы, действующие в жидкости.                                                                       | 5       | 2                                            |           | 2           | 4                               | Поиск дополнительной информации по заданной теме<br>Подготовка лабора-торному занятию.<br>Решение заданных задач по теме «Жидкость и ее физические свойства» | Прохождение вводного теста.Сдача задач по теме «Жидкость и ее физические свойства».                 | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                           |         | 2                                            |           | 2           | 4                               |                                                                                                                                                              |                                                                                                     |                        |
| 2. Тема 2                                                                                                                                  |         |                                              |           |             |                                 |                                                                                                                                                              |                                                                                                     |                        |
| 2.1 Гидростатика: дифференциальные уравнения равновесия жидкости; ос-новное уравнение гидростатики; Основы гидростатики. Уравнения Эйлера. | 5       | 2                                            | 2         |             | 3                               | Поиск дополнительной информации по заданной теме<br>Подготовка лабораторному занятию.<br>Решение заданных задач по разделам гидростатики.                    | Защита лабораторной работы №1 «Физические свойства жидкости». Сдача задач по разделам гидростатики. | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                           |         | 2                                            | 2         |             | 3                               |                                                                                                                                                              |                                                                                                     |                        |
| 3. Тема 3                                                                                                                                  |         |                                              |           |             |                                 |                                                                                                                                                              |                                                                                                     |                        |
| 3.1 Гидродинамика: кинематика жидкости, виды движения жидкости, закон сохранения массы,                                                    | 5       | 4                                            |           | 3           | 1                               | Поиск дополнительной информации по заданной теме.                                                                                                            | Сдача задач по теме "Режимы движения жидкости".                                                     | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |

|                                                                                                                                             |   |   |   |   |     |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| уравнение неразрывности. Основы динамики жидкости.                                                                                          |   |   |   |   |     | Работа с компьютерными обучающими программами. Подготовка к лабораторному занятию. Решение задач по разделам гидростатики. |                                                                                                         |                        |
| Итого по разделу                                                                                                                            |   | 4 |   | 3 | 1   |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 4. Тема 4                                                                                                                                   |   |   |   |   |     |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 4.1 Основные уравнения гидродинамики однородной несжимаемой жидкости.                                                                       | 5 | 2 | 3 |   | 1   | Поиск дополнительной информации по заданной теме. Подготовка к лабораторному занятию. Решение задач по гидродинамике.      | Защита лабораторной работы №2 «Изучение приборов для измерения давления». Сдача задач по гидродинамике. | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                            |   | 2 | 3 |   | 1   |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 5. Тема 5                                                                                                                                   |   |   |   |   |     |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 5.1 Тема. Движение идеальной жидкости, уравнение Бернулли, физическая интерпретация уравнения Бернулли.                                     | 5 | 2 |   | 2 | 1   | Поиск дополнительной информации по заданной теме. Подготовка к лабораторному занятию. Решение задач по гидродинамике.      | Защита задач по гидродинамике.                                                                          | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                            |   | 2 |   | 2 | 1   |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 6. Тема 6                                                                                                                                   |   |   |   |   |     |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 6.1 Движение вязкой несжимаемой жидкости. Уравнения Навье-Стокса.                                                                           | 5 | 2 | 2 |   | 1,2 | Поиск дополнительной информации по заданной теме.                                                                          | Защита лабораторной работы №3 «Измерение гидростатического давления жидкости».                          | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                            |   | 2 | 2 |   | 1,2 |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 7. Тема 7                                                                                                                                   |   |   |   |   |     |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 7.1 Основы теории гидродинамического подобия. Критерии гидродинамического подобия. Примеры использования в решении гидродинамических задач. | 5 | 2 |   | 2 | 1,3 | Поиск дополнительной информации по заданной теме.                                                                          | Защита задач. Прохождение теста.                                                                        | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                            |   | 2 |   | 2 | 1,3 |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 8. Тема 8                                                                                                                                   |   |   |   |   |     |                                                                                                                            |                                                                                                         |                        |
| 8.1 Гидравлические потери энергии. Режимы течения жидкости. Число                                                                           | 5 | 2 | 2 |   | 1   | Поиск дополнительной информации по                                                                                         | Защита лабораторной работы №4                                                                           | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |

|                                                                                                                                                                                        |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Рейнольдса. Ламинарный режим течения жидкости. Формула Стокса. Закон Гагена-Пуазейля                                                                                                   |   |   |   |   |   | заданной теме.                                           | «Изучение структуры потоков жидкости».                                          |                        |
| Итого по разделу                                                                                                                                                                       |   | 2 | 2 |   | 1 |                                                          |                                                                                 |                        |
| 9. Тема 9                                                                                                                                                                              |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
| 9.1 Местные потери энергии. Вывод формулы Борда – Карно. Виды местных сопротивлений.                                                                                                   | 5 | 2 |   | 2 | 1 | Поиск дополнительной информации по заданной теме         | Защита задач. Прохождение теста.                                                | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                                                                       |   | 2 |   | 2 | 1 |                                                          |                                                                                 |                        |
| 10. Тема 10                                                                                                                                                                            |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
| 10.1 Классификация трубопроводов. Гидравлический расчет трубопроводов. Примеры расчета трубопроводов.                                                                                  | 5 | 2 | 2 |   | 1 | Поиск дополнительной информации по заданной теме.        | Защита лабораторной работы №5 «Определение режима течения и его характеристик». | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                                                                       |   | 2 | 2 |   | 1 |                                                          |                                                                                 |                        |
| 11. Тема 11                                                                                                                                                                            |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
| 11.1 Истечение жидкости из отверстий и насадков. Классификация отверстий и истечений. Особенности истечения из отверстий. Особенности и характеристики истечения жидкости из насадков. | 5 | 2 |   | 2 | 1 | Поиск дополнительной информации по заданной теме         | Защита задач. Прохождение теста.                                                | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                                                                       |   | 2 |   | 2 | 1 |                                                          |                                                                                 |                        |
| 12. Тема 12                                                                                                                                                                            |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
| 12.1 Гидравлический удар в трубах. Причины возникновения. Прямой и непрямоу гидродар. Меры предотвращения гидродара.                                                                   | 5 | 2 | 2 |   | 5 | Поиск дополнительной информации по заданной теме.        | Защита лабораторной работы №6 «Иллюстрация уравнения Бернулли».                 | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                                                                       |   | 2 | 2 |   | 5 |                                                          |                                                                                 |                        |
| 13. Тема 13                                                                                                                                                                            |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
| 13.1 Гидроприводы. Структура и классификация гидроприводов. Гидроаппаратура управления.                                                                                                | 5 | 2 |   | 2 | 4 | Поиск дополнительной литературы по рассматриваемой теме. | Защита задач. Прохождение теста.                                                | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                                                                                                                       |   | 2 |   | 2 | 4 |                                                          |                                                                                 |                        |
| 14. Тема 14                                                                                                                                                                            |   |   |   |   |   |                                                          |                                                                                 |                        |
| 14.1 Гидромашины. Источники питания и исполнительные устройства – конструкции, параметры, классификация. Расчет параметров и выбор гидромашин по каталогам                             | 5 | 2 | 2 |   | 5 | Поиск дополнительной информации по рассматриваемой теме  | Защита лабораторной работы № 7 "Определение местных потерь напора"              | ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3 |

|                                                                                          |   |    |    |    |      |                                                                      |                                                                                                   |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|----|------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Итого по разделу                                                                         |   | 2  | 2  |    | 5    |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| 15. Тема 15                                                                              |   |    |    |    |      |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| 15.1 Методика расчета<br>объемного гидропривода.                                         | 5 | 2  |    | 2  | 1    | Поиск<br>дополнительной<br>информации по<br>рассматриваемой<br>теме. | Защита задач.<br>Прохождение<br>теста.                                                            | ПК-3.1, ПК-<br>3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                         |   | 2  |    | 2  | 1    |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| 16. Тема 16                                                                              |   |    |    |    |      |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| 16.1 Турбомашины.<br>Гидромуфты.<br>Гидротрансформаторы.<br>Применение.                  | 5 | 2  | 2  |    | 0,5  | Поиск<br>дополнительной<br>информации по<br>рассматриваемой<br>теме. | Защита<br>лабораторной<br>работы №8<br>"Определение<br>потерь напора<br>трубопровода по<br>длине" | ПК-3.1, ПК-<br>3.2, ПК-3.3 |
| Итого по разделу                                                                         |   | 2  | 2  |    | 0,5  |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| 17. Тема 17                                                                              |   |    |    |    |      |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| 17.1 Расчет основных<br>параметров<br>гидродинамических<br>машин и систем<br>водоотлива. | 5 | 2  | 1  | 1  | 0,2  | Поиск<br>дополнительной<br>литературы по<br>рассматриваемой<br>теме. | Сдача<br>лабораторных<br>работ и задач.<br>Прохождение<br>итогового теста.                        | ПК-3.1, ПК-<br>3.2, ПК-3.3 |
| 17.2 Экзамен                                                                             |   |    |    |    |      |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| Итого по разделу                                                                         |   | 2  | 1  | 1  | 0,2  |                                                                      |                                                                                                   |                            |
| Итого за семестр                                                                         |   | 36 | 18 | 18 | 32,2 |                                                                      | экзамен                                                                                           |                            |
| Итого по дисциплине                                                                      |   | 36 | 18 | 18 | 32,2 |                                                                      | экзамен                                                                                           |                            |

## 5 Образовательные технологии

### Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Гидромеханика» используются традиционная, интерактивная и информационно-коммуникационная образовательные технологии.

На занятиях предусматривается использование электронного демонстрационного-учебного материала содержащего сложные схемы, таблицы и математические формулы. Мультимедийное оборудование может быть использовано также и студентами для демонстрации результатов выполнения лабораторных работ.

1. Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер.

Формы учебных занятий с использованием традиционных технологий:

Информационная лекция – последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами (монолог преподавателя).

Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

2. Интерактивные технологии – организация образовательного процесса, которая предполагает активное и нелинейное взаимодействие всех участников, достижение на этой основе лично значимого для них образовательного результата. Наряду со специализированными технологиями такого рода принцип интерактивности прослеживается в большинстве современных образовательных технологий. Интерактивность подразумевает субъект-субъектные отношения в ходе образовательного процесса и, как следствие, формирование саморазвивающейся информационно-ресурсной среды.

Формы учебных занятий с использованием специализированных интерактивных технологий:

Лекция «обратной связи» – лекция–провокация (изложение материала с заранее запланированными ошибками), лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-прессконференция.

3. Информационно-коммуникационные образовательные технологии – организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией.

Формы учебных занятий с использованием информационно-коммуникационных технологий: Лекция-визуализация – изложение содержания сопровождается презентацией (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

Лабораторное занятие в форме виртуальной визуализации процессов и явлений, происходящих в жидкости и деятельности с использованием специализированных программных сред.

Передовые технологии, применяемые для достижения образовательной цели:

1. В учебном процессе предусмотрены занятия в форме разбора конкретных ситуаций, связанных с гидравликой и гидропневмоприводом.

2. Использование в учебном процессе виртуального лабораторного практикума по разделам технической гидромеханики.

3. При проведении лабораторных работ рассматриваются тесты по разделам в интерактивной форме.

4. На лекциях используется компьютер с проектором для отображения и лучшего освоения изучаемого материала.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Доманский, И.В. Механика жидкости и газа : учебное пособие / И.В. Доманский, В.А. Некрасов. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 140 с. — ISBN 978-5-8114-3158-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система «Лань» : [сайт]. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110915>

2. Сазанов И. И. Гидравлика [Электронный ресурс]: учебник / Сазанов И. И., Схиртладзе А. Г., Иванов В. И. - М.: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 320 с.: 60х90 1/16. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=601869> . - Загл. с экрана. - ISBN 978-5-906818-77-5.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Соколова М. С. Механика жидкости и газов : практикум / М. С. Соколова, А. В. Тихонов, М. А. Лемешко ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/1945>. - Текст : электронный.

2. Осипов, П. Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод [Текст] : учебное пособие. - 3-е изд., перераб. и доп. - Липецк : Интеграл, 2011. - 424 с.

3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] : учебник. - М. : Дрофа, 2003. - 840 с.

4. Кольга А.Д., Иванов С.А., Точилкин В.В., Филатов А.М., Задорожный В.Д., Вагин В.С. Основы функционирования гидравлических систем металлургического оборудования: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2011. - 197 с. (допущено УМО по образованию в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Металлургические машины и оборудование»). ISBN 978-5-9967-0224-4.

5. Точилкин В.В., Филатов А.М., Задорожный В.Д., Иванов С.А., Кольга А.Д., Вагин В.С. Основы функционирования гидравлических систем металлургического оборудования. Лабораторный практикум по гидроприводу и гидроавтоматике. Учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-

та им. Г.И.Носова, 2009. - 105 с. (допущено УМО по образованию в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Металлургические машины и оборудование»). ISBN 978-5-9967-0085-1.

7. Точилкин В.В., Филатов А.М., Иванов С.А., Чиченев Н.А., Кольга А.Д., Вагин В.С. Исследование работы и характеристик элементов гидропривода металлургических машин: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. - 207 с. (допущено УМО по образованию в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Металлургические машины и оборудование»). ISBN 978-5-9967-0451-4.

8. Гидравлика и гидропривод [Текст] : учебное пособие / Н. С. Гудилин, Е. М. Кривенко, Б. С. Маховиков, И. Л. Пастоев ; под общ. ред. И. Л. Пастоева ; ред. совет : Л. А. Пучков (пред.) и др. - 2-е изд., стер. - М. : МГТУ, 2001. - 519 с.

#### **в) Методические указания:**

1. Точилкин В.В., Филатов А.М., Мацко Е.Ю. Гидропривод. Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 170900. Магнитогорск: МГТУ, 2001. 24 с.

2. Мацко Е.Ю., Усов И.Г. Гидравлика и гидропневмопривод: Методические указания к контрольным работам для студентов направлений 190100, 150400, 150900 и специальностей 190205, 260301, 260303, 151001, 150400 всех форм обучения. [Электронный ресурс], Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012.

3. Попов, П. Е. Гидропневмопривод технологического оборудования : учебное пособие / П. Е. Попов, Д. А. Блохин, П. В. Назаров. — Омск : ОмГТУ, 2022. — 82 с. — ISBN 978-5-8149-3443-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/343601> (дата обращения: 16.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

##### **Программное обеспечение**

| Наименование ПО                                                                                                                   | № договора                   | Срок действия лицензии |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 7Zip                                                                                                                              | свободно распространяемое ПО | бессрочно              |
| Электронные плакаты по курсу "Гидравлика и гидропривод"                                                                           | К-227-12 от 11.09.2012       | бессрочно              |
| КС Плюс<br>Интерактивный тренажер 3D Атлас2.0<br>«Устройство гидравлических насосов, объемных гидродвигателей и насосных станций» | Д-744-22 от 29.07.2022       | бессрочно              |

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса                                                                  | Ссылка                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова                             | <a href="https://host.megaprolib.net/MP0109/Web">https://host.megaprolib.net/MP0109/Web</a>         |
| Российская Государственная библиотека. Каталоги                                 | <a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a> |
| Электронная база периодических изданий EastView InformationServices, ООО «ИВИС» | <a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>                                 |

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

В соответствии с учебным планом по дисциплине предусмотрены следующие виды занятий: лекции, практические занятия, лабораторные занятия, самостоятельная работа, консультации, зачет.

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа:

- мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебные аудитории для проведения занятий для проведения практических занятий:

- мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации;
- доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

- мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации;
- доска, мультимедийный проектор, экран.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся:

- персональные компьютеры с пакетом MSOffice, выходом в интернет и с доступом в электронную образовательную среду университета.

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования:

- стеллажи для хранения учебно-наглядных пособий и учебно-методической документации.

Учебные аудитории для проведения лабораторных работ:

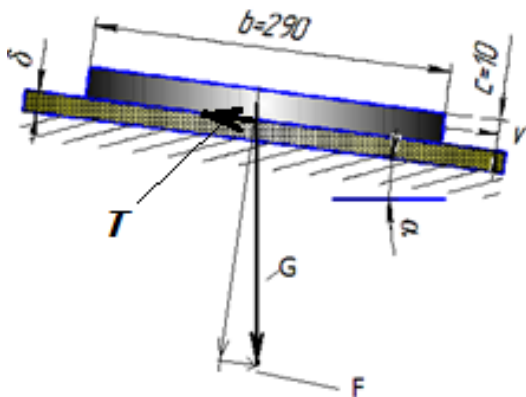
Комплекс учебный «Гидравлические приводы и средства автоматизации»;  
Комплекс учебный «Гидроавтоматика»;  
Комплекс для отработки навыков проектирования;  
Лаборатория учебная гидравлическая «Капелька»

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

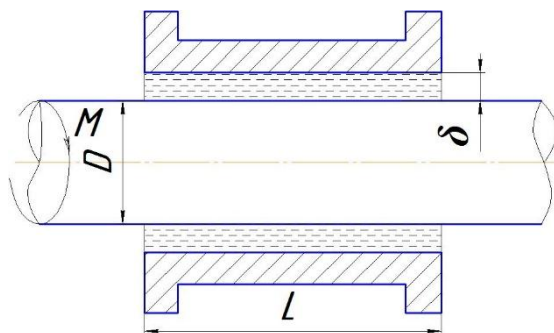
**Примерные задачи по теме «Физические свойства жидкости»:**

Задача 1. Автоклав объемом 25,0 л наполнен жидкостью и закрыт герметически. Коэффициент температурного расширения жидкости  $\beta_t$ , ее модуль упругости  $K$ . Определить повышение давления в автоклаве при увеличении температуры жидкости на величину  $\Delta T$ . Объемной деформацией автоклава пренебречь.

Задача 2 (рис. 1). Определить скорость  $v$  равномерного скольжения прямоугольной пластины ( $a \cdot b \cdot c$ ) по наклонной плоскости под углом  $\alpha = 12^\circ$ , если между пластиной и плоскостью находится слой масла толщиной  $\delta$ . Температура масла  $30^\circ\text{C}$ , плотность материала пластины  $\rho$ .

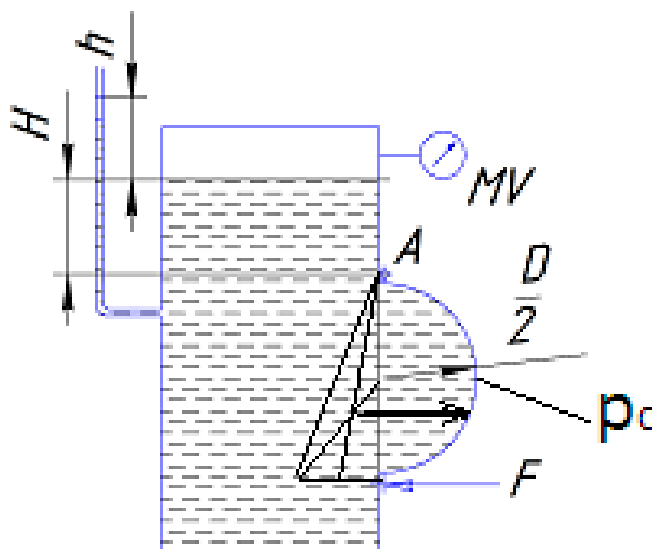


Задача 3 (рис. 2). Зазор между валом и втулкой заполнен маслом, толщина слоя которого равна  $\delta$ . Диаметр вала  $D$ , длина втулки  $L$ . Вал вращается равномерно под воздействием вращающего момента  $M$ . Определить частоту вращения вала, если температура масла равна  $40^\circ\text{C}$ .

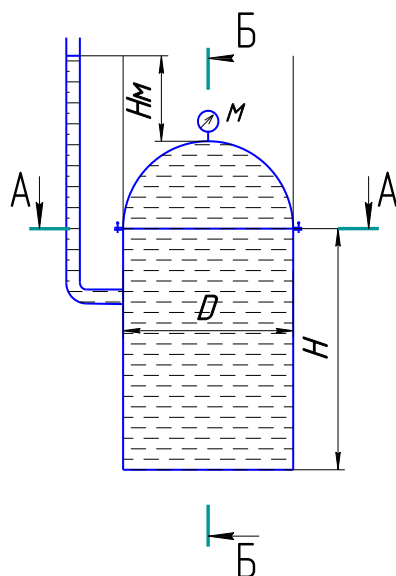


**Примерные задачи по теме «Гидростатика»:**

Задача 1 (рис.). Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом, температура которого  $20^\circ\text{C}$ . В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие ( $D \times b$ ), закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может повернуться вокруг горизонтальной оси  $A$ . Мановакуумметр МУ показывает манометрическое давление  $p_m$  или вакуумметрическое  $p_v$ . Глубина топлива над крышкой равна  $H$ . Определить усилие  $F$ , которое необходимо приложить к нижней части крышки, чтобы она не открывалась.



Силой тяжести крышки пренебречь. На схеме показать векторы действующих сил.

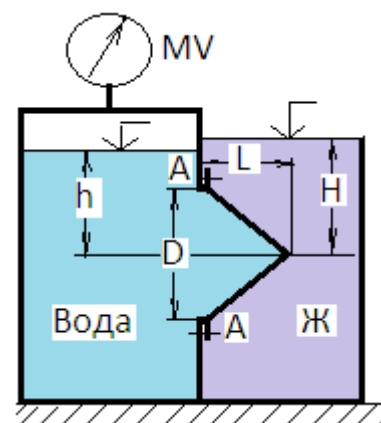


Задача 2 (рис.).

Вертикальная цилиндрическая цистерна с полусферической крышкой до самого верха заполнена жидкостью, плотность которой  $\rho$ . Диаметр цистерны  $D$ , высота ее цилиндрической части  $H$ . Манометр  $M$  показывает манометрическое давление  $p_m$ .

Определить силу, растягивающую болты  $A$ , и горизонтальную силу, разрывающую цистерну по сечению 1—1. Силой тяжести крышки пренебречь. Векторы сил показать на схеме.

Задача 3 (рис. ). Круглое отверстие между двумя резервуарами закрыто конической крышкой с размерами  $D$  и  $L$ . Закрытый резервуар заполнен водой, а открытый - жидкостью  $Ж$ . К закрытому резервуару сверху присоединен мановакуумметр  $MV$ , показывающий манометрическое давление  $p_m$  или вакуум  $p_v$ . Температура жидкостей  $20^\circ\text{C}$ , глубины  $h$  и  $H$ . Определить силу срезающую болты  $A$ , и горизонтальную силу, действующую на крышку. Силой тяжести крышки пренебречь. Векторы сил показать на схеме.



### Примерные задачи по теме «Гидродинамика»:

**Задача 1.** Вода перетекает из напорного бака, где избыточное давление воздуха  $p = 0,3$  МПа, в открытый резервуар по короткой трубе диаметром  $d = 50$  мм, на которой установлен кран. Чему должен быть равен коэффициент сопротивления крана для того, чтобы расход воды составлял  $Q = 8,7$  л/с? Высоты уровней  $H_1 = 1$  м и  $H_2 = 3$  м. Учесть потерю напора на входе в трубу  $\xi = 0,5$  и на выходе из трубы (внезапное расширение).

**Задача 2.** Масло всасывается насосом на высоту  $h_{вс} = 0,5$  м по трубе диаметром 20 мм и длиной 1,2 м, которая имеет два резких изгиба. Насос развивает подачу 20 л/мин. Масло плотностью  $900 \text{ кг/м}^3$  имеет кинематическую вязкость  $\nu = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ . В баке давление

воздуха – атмосферное. Определить, какой вакуум развивает насос. Принять для масляного фильтра коэффициенты местных сопротивлений  $\zeta_{\text{ф}} = 6$ , для входа во всасывающую полость насоса  $\zeta_{\text{н}} = 2$  и для изгиба всасывающей трубы  $\zeta_{\text{изг}} = 0,8$ .

**Примерные задачи по теме «Гидравлический расчет трубопроводов»**

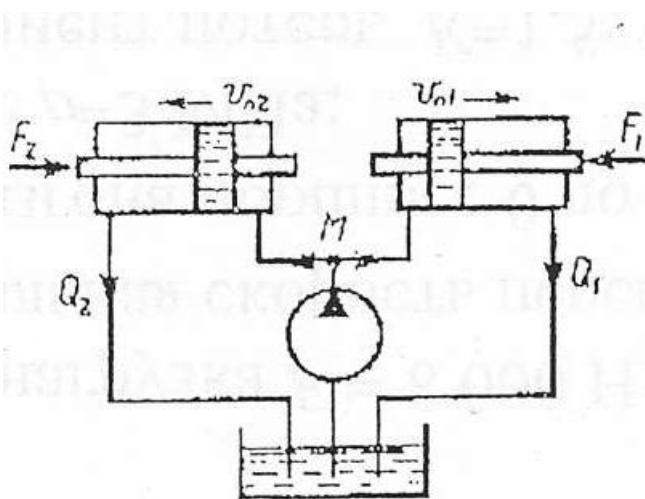
**Задача 1.** Определить величину потерь давления, вызванных поворотом трубопровода диаметром  $d = 200$  мм на угол  $\alpha = 90^\circ$ . Трубопровод новый стальной, радиус поворота  $R = 40$  м. Жидкое масло минеральное ( $\nu = 14,5 \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ). Расход жидкости  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Задача 2.

Задача 4.8. Жидкость с плотностью  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $\nu = 0,01$  Ст нагнетается по горизонтальному трубопроводу длиной  $L = 4$  м и диаметром  $d = 25$  мм. Определить давление в начальном сечении, если в конечном сечении трубопровода давление атмосферное, расход жидкости  $Q = 6 \text{ л/с}$ ; шероховатость стенок трубопровода  $A = 0,06$  мм.

**Задачи по расчету элементов гидропривода**

**Задача 1.** Для подъема груза  $G$  со скоростью  $v = 0,15 \text{ м/с}$  используются два



гидроцилиндра диаметром  $D = 100$  мм. Груз смещен относительно оси симметрии так, что нагрузка на шток 1 гидроцилиндра  $F_1 = 6 \text{ кН}$ , а на шток второго цилиндра  $F_2 = 5 \text{ кН}$ . Каким должен быть коэффициент местного сопротивления дросселя  $\xi_{\text{др}}$ , чтобы платформа поднималась без перекашивания: Диаметр трубопровода  $d = 10$  мм; плотность жидкости  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ . Потери по длине трубы пренебречь.

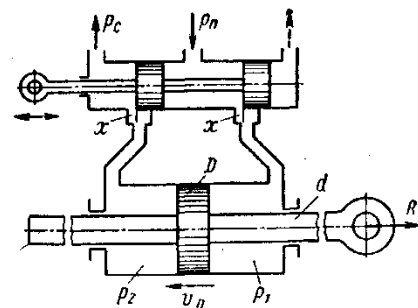
**Задача 2.** Определить расход жидкости, пропускаемый ограничителем расхода, который рассмотрен в задаче 8, если динамическая вязкость жидкости  $\mu = 0,04 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и ее плотность  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ . Воспользоваться формулой для потери напора на трение при турбулентном режиме

$$h_{\text{т}} = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g}$$

где  $D$  — гидравлический диаметр сечения и  $v$  — средняя скорость.

Принимая винтовой канал гидравлически гладким, коэффициент сопротивления трения определять по формуле

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}}}, \text{ где число Рейнольдса } \text{Re} = \frac{vD}{\nu}.$$



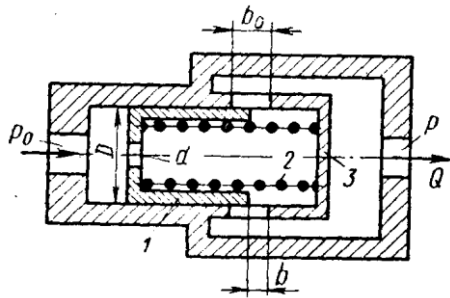
**Задача 3.** Ограничитель расхода, который служит для автоматического поддержания постоянного расхода в системе при постоянном входном давлении  $p_0$  и переменном противодавлении  $p$ , состоит из подвижного поршня 1 диаметром  $D = 60$  мм, имеющего отверстие  $d = 10$  мм и нагруженного пружиной 2.

При изменении противодействия  $p$  поршень перемещается, изменяя открытие  $b$  окон в корпусе 3 таким образом, что расход через ограничитель остается постоянным.

Высота прямоугольных окон в корпусе  $b_0 = 5$  мм, их суммарная площадь  $f_0 = 1,5$  см<sup>2</sup>.

Считая усилие пружины постоянным и равным  $R = 550$  Н, определить для входного давления масла, равного  $p_0 = 15$  МПа:

1. Величину расхода  $Q$ , поддерживаемого ограничителем.
2. Зависимость открытия  $b$  окон от противодействия  $p$  и величину открытия при  $p=0$ .
3. Максимальное значение противодействия  $p_{\max}$ , начиная с которого расход через ограничитель будет уменьшаться.



Коэффициент расхода отверстия в поршне и окон в корпусе принять  $\mu = 0,6$ . Плотность масла  $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>.

Указание. Воспользоваться условием равновесия поршня в следующем виде:

$$\Delta p \frac{\pi D^2}{4} = R$$

где  $\Delta p$  — перепад давлений по обе стороны отверстия в поршне.

#### Задачи по следящему приводу

Задача 1. В двухсопловом гидроусилителе заслонка перемещена в сторону одного из сопел на величину  $h$  от среднего положения  $h_0$ , чем вызван перепад давления  $\Delta p$  на торцах распределительного золотника и, как следствие этого, его перемещение  $x$  от нейтрального положения. Считая, что силы давления на торцах золотника уравниваются только пружинами, определить  $x$ , если давление питания гидроусилителя  $p_1 = 6 \cdot 10^6$  Па и перемещение заслонки  $h = 0,5h_0$ .

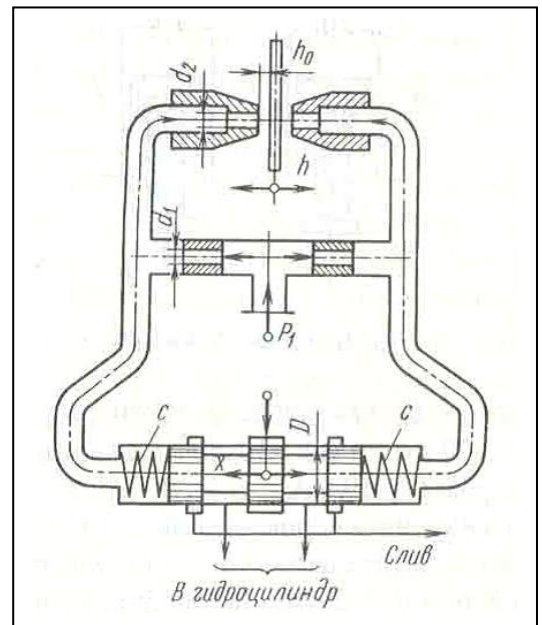
Жесткость каждой из пружин золотника  $c = 130$  Н/мм, его диаметр  $D = 10$  мм.

Расход через сопло определять по формуле

$$Q = \mu_2 \pi d_2 (h_0 - h) \sqrt{\frac{2p}{\rho}},$$

где  $\mu_2$  - коэффициент расхода сопла;  $p$  - давление перед соплом;  $\rho$  - плотность жидкости.

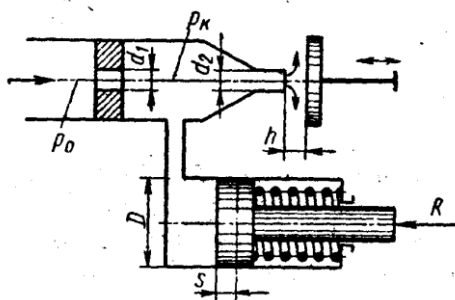
Задачу решить для случая, когда  $\pi d_2 h_0 = \pi d_1^2 / 4$  и  $\mu_1 = \mu_2$ , где  $\mu_1$  - коэффициент расхода входного дроссельного отверстия и  $d_1$  - его диаметр.



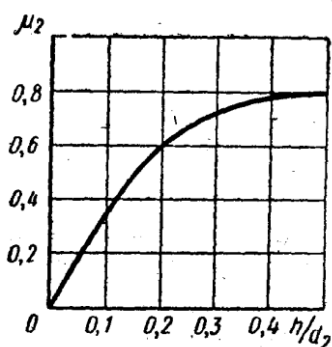
Задача 2. Рабочая жидкость подается к гидроусилителю типа сопло-заслонка под постоянным давлением  $p_0 = 10$  МПа. Командный элемент гидроусилителя включает постоянный дроссель в виде жиклера  $d_1 = 3$  мм и регулируемый дроссель в виде сопла  $d_2 = 2$  мм с подвижной заслонкой на выходе.

Давление  $p_k$  в камере между дросселями передается в рабочую полость исполнительного гидроцилиндра ( $D = 35$  мм), поршень которого оперт на пружину жесткостью  $C = 200$  Н/см и нагружен силой  $R = 7500$  Н.

При изменении зазора  $h$  между соплом и заслонкой изменяется давление  $p_k$  вызывая следящее перемещение поршня.



Построить график зависимости между зазором  $h$  и смещением  $s$  поршня из крайнего положения, отвечающего  $h=0$ . Определить  $s$  при  $h=1$  мм. Расход через жиклер равен



$$Q_1 = \mu_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{2 \frac{P_0 - P_k}{\rho}},$$

где  $\mu_1 = 0,8$ , и через сопло-заслонку.

$$Q_2 = \mu_2 \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{2 \frac{P_k}{\rho}},$$

где коэффициент расхода  $\mu_2$  задан как функция

$$\frac{h}{d_2}.$$

относительного зазора

$$\mu = f\left(\frac{h}{d_2}\right)$$

Построить дополнительно график зависимости сопла-заслонки, определяемого из выражения

$$Q_2 = \mu \pi d_2 h \sqrt{2 \frac{P_k}{\rho}}.$$

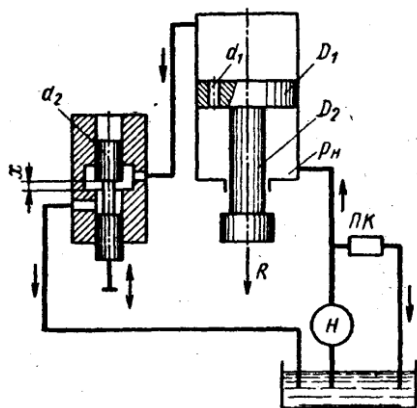
Задача 3. Исполнительный цилиндр гидроусилителя (диаметр поршня  $D_1 = 60$  мм и штока  $D_2 = 30$  мм) нагружен силой  $R = 3500$  Н. Рабочая жидкость ( $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>) подается в нижнюю полость цилиндра насосом Н под давлением  $p_n = 5$  МПа (поддерживается постоянным с помощью переливного клапана ПК).

Командный однокромочный золотник (диаметр плунжера  $d_2 = 10$  мм), управляет перемещениями штока цилиндра путем изменения открытия цилиндрического окна, через которое жидкость поступает из верхней полости цилиндра на слив.

В поршне цилиндра имеется дросселирующее отверстие ( $d_1 = 4$  мм), благодаря которому можно при определенных открытиях золотника реверсировать движение поршня.

Построить график зависимости скорости  $v_n$  установившегося движения поршня от открытия  $x$  золотника.

Указать, при каком  $x$  поршень останавливается ( $v_n = 0$ ). Каково будет значение  $v_n$  при закрытом золотнике?



Расход через дросселирующее отверстие определять по формуле

$$Q_1 = \mu_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{2 \frac{P_n - P_0}{\rho}}$$

и через золотник

$$Q_2 = \mu_2 \pi d_2 x \sqrt{2 \frac{P_0}{\rho}}$$

где  $p_0$  — давление в верхней полости цилиндра.

Коэффициенты расхода принять  $\mu_1 = \mu_2 = 0,6$ .

Трением и утечками в цилиндре пренебрегать.

Указание. Воспользоваться уравнением равновесия поршня:

$$P_0 \frac{\pi D_1^2}{4} + R = p_n \frac{\pi (D_1^2 - D_2^2)}{4}$$

и выражением расхода жидкости из верхней полости в золотник предполагая, что поршень движется вверх, имеем

$$Q_0 = Q_1 + v_n \frac{\pi D_1^2}{4}$$

## Примерное задание по лабораторной работе.

По исходным данным для двух гидросистем, показанных на рис. 1, определить скоростные и силовые параметры гидроцилиндра. Результаты ввести в таблицу. Объяснить полученные результаты.

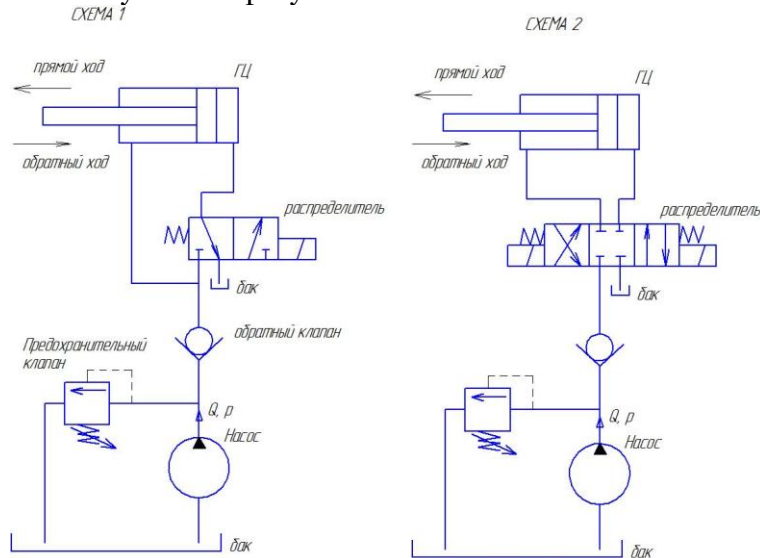
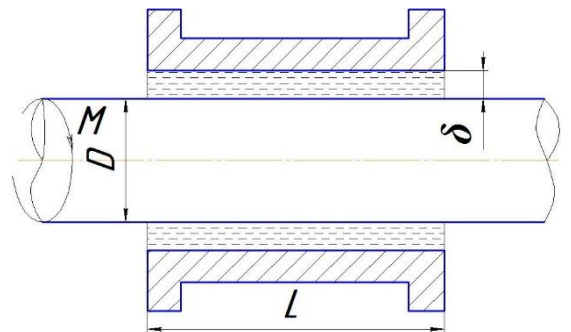


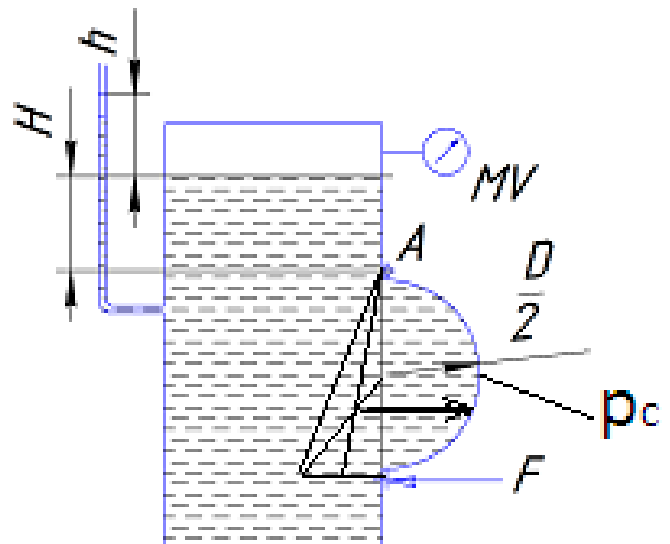
Рисунок 1 – Гидравлические схемы подключения гидроцилиндра

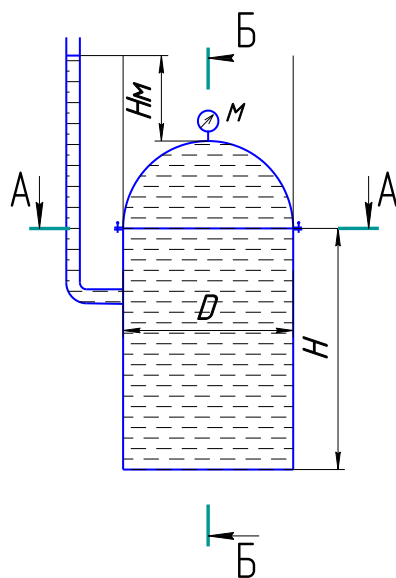
Задача 3 (рис. 2). Зазор между валом и втулкой заполнен маслом, толщина слоя которого равна  $\delta$ . Диаметр вала  $D$ , длина втулки  $L$ . Вал вращается равномерно под воздействием вращающего момента  $M$ . Определить частоту вращения вала, если температура масла равна  $40^\circ\text{C}$ .



## Примерные задачи по теме «Гидростатика»:

Задача 1 (рис.). Закрытый резервуар заполнен дизельным топливом, температура которого  $20^\circ\text{C}$ . В вертикальной стенке резервуара имеется прямоугольное отверстие ( $D \times b$ ), закрытое полуцилиндрической крышкой. Она может повернуться вокруг горизонтальной оси  $A$ . Мановакуумметр МУ показывает манометрическое давление  $p_m$  или вакуумметрическое  $p_v$ . Глубина топлива над крышкой равна  $H$ . Определить усилие  $F$ , которое необходимо приложить к нижней части крышки, чтобы она не открывалась. Силой тяжести крышки пренебречь. На схеме показать векторы действующих сил.





Задача 2 (рис.).

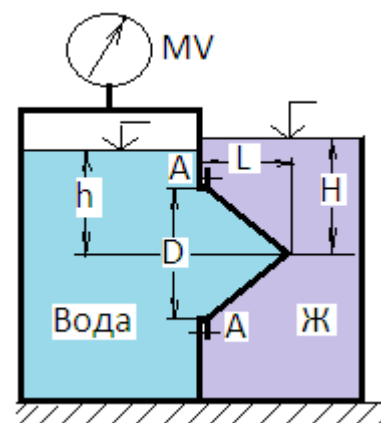
Вертикальная

цилиндрическая цистерна с полусферической крышкой до самого верха заполнена жидкостью, плотность которой  $\rho$ . Диаметр цистерны  $D$ , высота ее цилиндрической части  $H$ . Манометр  $M$  показывает манометрическое давление  $p_m$ .

Определить силу, растягивающую болты  $A$ , и горизонтальную силу, разрывающую цистерну по сечению 1—1. Силой тяжести крышки пренебречь. Векторы сил показать на схеме.

Задача 3 (рис. ). Круглое отверстие между двумя резервуарами закрыто конической крышкой с размерами  $D$  и  $L$ . Закрытый резервуар заполнен водой, а открытый - жидкостью  $Ж$ . К закрытому резервуару сверху

присоединен мановакуумметр  $MV$ , показывающий манометрическое давление  $p_m$  или вакуум  $p_v$ . Температура жидкостей  $20^\circ\text{C}$ , глубины  $h$  и  $H$ . Определить силу срезающую болты  $A$ , и горизонтальную силу, действующую на крышку. Силой тяжести крышки пренебречь. Векторы сил показать на схеме.



### Примерные задачи по теме «Гидродинамика»:

**Задача 1.** Вода перетекает из напорного бака, где избыточное давление воздуха  $p = 0,3$  МПа, в открытый резервуар по короткой трубе диаметром  $d = 50$  мм, на которой установлен кран. Чему должен быть равен коэффициент сопротивления крана для того, чтобы расход воды составлял  $Q = 8,7$  л/с? Высоты уровней  $H_1 = 1$  м и  $H_2 = 3$  м. Учесть потерю напора на входе в трубу  $\xi = 0,5$  и на выходе из трубы (внезапное расширение).

**Задача 2.** Масло всасывается насосом на высоту  $h_{вс} = 0,5$  м по трубе диаметром 20 мм и длиной 1,2 м, которая имеет два резких изгиба. Насос развивает подачу 20 л/мин. Масло плотностью  $900 \text{ кг/м}^3$  имеет кинематическую вязкость  $\nu = 4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ . В баке давление воздуха – атмосферное. Определить, какой вакуум развивает насос. Принять для масляного

фильтра коэффициенты местных сопротивлений  $\zeta_{\text{ф}} = 6$ , для входа во всасывающую полость насоса  $\zeta_{\text{н}} = 2$  и для изгиба всасывающей трубы  $\zeta_{\text{изг}} = 0,8$ .

### Примерные задачи по теме «Гидравлический расчет трубопроводов»

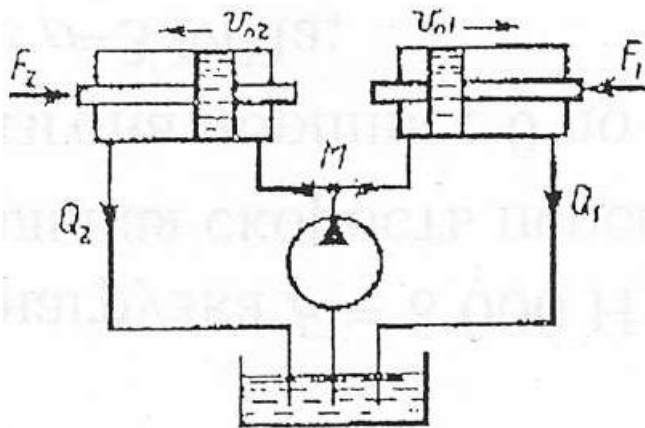
**Задача 1.** Определить величину потерь давления, вызванных поворотом трубопровода диаметром  $d = 200$  мм на угол  $\alpha = 90^\circ$ . Трубопровод новый стальной, радиус поворота  $R = 40$  м. Жидкое масло минеральное ( $\nu = 14,5 \times 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ ). Расход жидкости  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Задача 2.

Задача 4.8. Жидкость с плотностью  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $\nu = 0,01$  Ст нагнетается по горизонтальному трубопроводу длиной  $L = 4$  м и диаметром  $d = 25$  мм. Определить давление в начальном сечении, если в конечном сечении трубопровода давление атмосферное, расход жидкости  $Q = 6 \text{ л/с}$ ; шероховатость стенок трубопровода  $A = 0,06$  мм.

### Задачи по расчету элементов гидропривода

**Задача 1.** Для подъема груза  $G$  со скоростью  $v = 0,15 \text{ м/с}$  используются два



гидроцилиндра диаметром  $D = 100$  мм. Груз смещен относительно оси симметрии так, что нагрузка на штоке 1-го цилиндра  $F_1 = 6 \text{ кН}$ , а на штоке второго цилиндра  $F_2 = 5 \text{ кН}$ . Каким должен быть коэффициент местного сопротивления дросселя  $\xi_{\text{др}}$ , чтобы платформа поднималась без перекашивания: Диаметр трубопровода  $d = 10$  мм; плотность жидкости  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ . Потерями по длине трубы пренебречь.

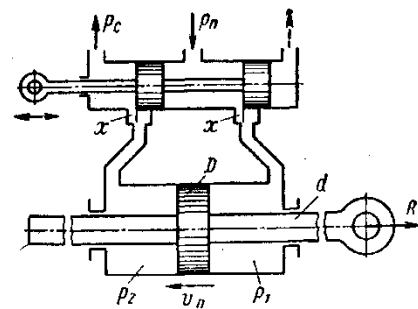
**Задача 2.** Определить расход жидкости, пропускаемый ограничителем расхода, который рассмотрен в задаче 8, если динамическая вязкость жидкости  $\mu = 0,04 \text{ Па}\cdot\text{с}$  и ее плотность  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ . Воспользоваться формулой для потери напора на трение при турбулентном режиме

$$h_{\text{т}} = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$

где  $D$  — гидравлический диаметр сечения и  $v$  — средняя скорость.

Принимая винтовой канал гидравлически гладким, коэффициент сопротивления трения определять по формуле

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}}}, \text{ где число Рейнольдса } \text{Re} = \frac{vD}{\nu}.$$



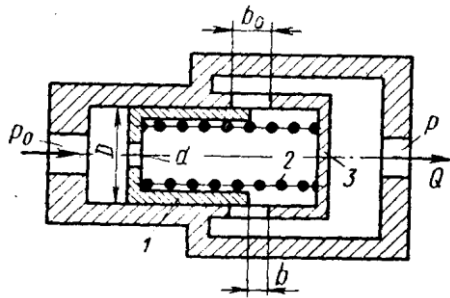
**Задача 3.** Ограничитель расхода, который служит для автоматического поддержания постоянного расхода в системе при постоянном входном давлении  $p_0$  и переменном противодавлении  $p$ , состоит из подвижного поршня 1 диаметром  $D = 60$  мм, имеющего отверстие  $d = 10$  мм и нагруженного пружиной 2.

При изменении противодействия  $p$  поршень перемещается, изменяя открытие  $b$  окон в корпусе 3 таким образом, что расход через ограничитель остается постоянным.

Высота прямоугольных окон в корпусе  $b_0 = 5$  мм, их суммарная площадь  $f_0 = 1,5$  см<sup>2</sup>.

Считая усилие пружины постоянным и равным  $R = 550$  Н, определить для входного давления масла, равного  $p_0 = 15$  МПа:

1. Величину расхода  $Q$ , поддерживаемого ограничителем.
2. Зависимость открытия  $b$  окон от противодействия  $p$  и величину открытия при  $p=0$ .
3. Максимальное значение противодействия  $p_{\max}$ , начиная с которого расход через ограничитель будет уменьшаться.



Коэффициент расхода отверстия в поршне и окон в корпусе принять  $\mu = 0,6$ . Плотность масла  $\rho = 850$  кг/м<sup>3</sup>.

Указание. Воспользоваться условием равновесия поршня в следующем виде:

$$\Delta p \frac{\pi D^2}{4} = R$$

где  $\Delta p$  — перепад давлений по обе стороны отверстия в поршне.

### Примерное задание по лабораторной работе.

По исходным данным для двух гидросистем, показанных на рис. 1, определить скоростные и силовые параметры гидроцилиндра. Результаты ввести в таблицу. Объяснить полученные результаты.

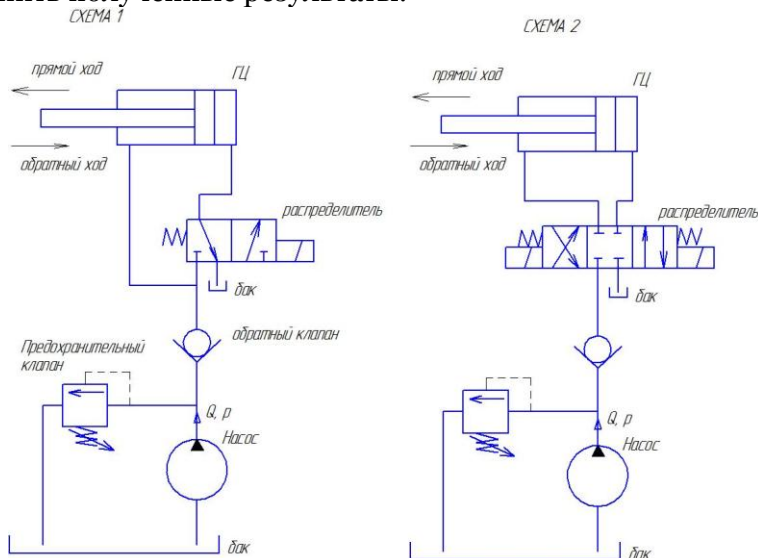


Рисунок 1 – Гидравлические схемы подключения гидроцилиндра

|                                          | Схема 1    |              | Схема 2    |              |
|------------------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|
|                                          | Прямой ход | Обратный ход | Прямой ход | Обратный ход |
| Диаметр поршня<br>$D$ , мм               |            |              |            |              |
| Диаметр штока $d$ ,<br>мм                |            |              |            |              |
| Давление<br>номинальное $p$ ,<br>МПа     |            |              |            |              |
| Номинальный<br>расход $Q$ , л/мин        |            |              |            |              |
| Площадь<br>поршневой<br>полости, $S_p$   |            |              |            |              |
| Площадь<br>штоковой<br>полости, $S_{шт}$ |            |              |            |              |
| Скорость штока<br>$v$ , м/с              |            |              |            |              |
| Усилие на штоке<br>$F$ , Н               |            |              |            |              |



## Приложение 2

### Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

| Код индикатора                                                                                                                                                                                                                     | Индикатор достижения компетенции                                                                                                                                                                                                  | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1: Способен разрабатывать разделы проектов строительства, реконструкции и технического перевооружения объектов открытых горных работ, проектную и техническую документацию с учетом требований промышленной безопасности</b> |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ПК-1.1:                                                                                                                                                                                                                            | Обосновывает главные параметры карьера, вскрытие карьерного поля, системы открытой разработки, режим горных работ, технологию и механизацию открытых горных работ, методы профилактики аварий и способы ликвидации их последствий | <b><i>Перечень теоретических вопросов к зачету:</i></b><br><br>1. Свойства рабочих жидкостей. Основные понятия и определения жидкости.<br>2. Плотность и удельный вес жидкости.<br>3. Сжимаемость жидкости.<br>4. Коэффициент объемного сжатия.<br>5. Коэффициент теплового расширения.<br>6. Модуль упругости жидкости.<br>7. Вязкость жидкости.<br>8. Коэффициент кинематической вязкости жидкости.<br>9. Кавитация жидкости, способы предотвращения.<br>10. Облитерация жидкости. |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <p>11. Гидростатика, основные понятия и определения.</p> <p>12. Понятие гидростатического давления.</p> <p>13. Единицы измерения гидростатического давления.</p> <p>14. Свойства гидростатического давления.</p> <p>15. Понятия гидростатического давления: абсолютное, атмосферное, избыточное и вакуум.</p> <p>16. Дифференциальные уравнения Эйлера для равновесия жидкости.</p> <p>17. Основное уравнение гидростатики.</p> <p>18. Закон Архимеда.</p> <p>19. Закон Паскаля.</p> <p>20. Механизм с использованием уравнения гидростатики, домкрат. и мультипликатор.</p> <p>21. Механизм с использованием уравнения гидростатики, мультипликатор.</p> <p>22. Измерение давления жидкости.</p> <p>23. Равновесие жидкости в сообщающихся сосудах.</p> <p>24. Сила давления жидкости на вертикальную стенку.</p> <p>25. Сила давления жидкости на горизонтальную стенку.</p> <p>26. Сила давления жидкости на наклонную стенку.</p> <p>27. Определение толщины стенки.</p> <p>28. Гидродинамика, основные определения.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <p>29. Геометрия потоков жидкости.</p> <p>30. Классификация потоков жидкости</p> <p>31. Режимы движения жидкости. Число Рейнольдса.</p> <p>32. Ламинарный режим движения жидкости и его закономерности.</p> <p>33. Расход и средняя скорость потока при ламинарном режиме.</p> <p>34. Турбулентный режим движения жидкости и его закономерности.</p> <p>35. Закон неразрывности потока жидкости.</p> <p>36. Закон сохранения энергии для потока жидкости. Уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости.</p> <p>37. Уравнение Бернулли для струйки идеальной жидкости.</p> <p>38. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости.</p> <p>39. Уравнение Бернулли для струйки реальной жидкости.</p> <p>40. Применение основных уравнений движения потоков жидкости для измерения скоростей и расходов жидкости.</p> <p>41. Гидростатический удар. Формула Жуковского Н.Е. для гидроудара.</p> <p>42. Способы предотвращения гидравлического удара..</p> <p>43. Потери напора (давления), определяемые длиной трубопровода, формула Дарси.</p> <p>44. Определение местных потерь напора (давления) в трубопроводе, формула Вейсбаха.</p> <p>45. Определение потерь напора (давления) в трубопроводе, формула Дарси-Вейсбаха.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <p>46. Расчет общего сопротивления в простом трубопроводе.</p> <p>47. Последовательное соединение простых трубопроводов.</p> <p>48. Параллельное соединение простых трубопроводов.</p> <p>49. Определение потерь давления в реальной гидросистеме.</p> <p>50. Формула Торичелли.</p> <p>51. Истечение жидкости через малое отверстие в тонкой стенке.</p> <p>52. Достоинства и недостатки гидропривода.</p> <p>53. Условные обозначения в гидроприводах.</p> <p>54. Структура гидропривода.</p> <p>55. Схемы с объемным регулированием скорости жидкости.</p> <p>56. Схемы с регулированием силы исполнительного органа;</p> <p>57. Схемы с объемным регулированием скорости жидкости.</p> <p>58. Насосы гидроприводов, условные обозначения. Типы</p> <p>59. Гидродвигатели, условные обозначения.</p> <p>60. Гидроцилиндры, условные обозначения.</p> <p>61. Расчет основных параметров гидроцилиндра.</p> <p>62. Гидрораспределители, условные обозначения.</p> <p>63. Запорные клапаны, условные обозначения.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <p>64. Клапаны давления, условные обозначения.</p> <p>65. Предохранительные клапаны, условные обозначения.</p> <p>66. Поточные клапаны, условные обозначения.</p> <p>67. Дроссели, условные обозначения.</p> <p>68. Гидроаккумуляторы, условные обозначения.</p> <p>69. Фильтры, условные обозначения.</p> <p>70. Приборы контроля гидропривода. Условные обозначения..</p> <p>71. Гидравлическая схема применения дифференциального гидроцилиндра.</p> <p>72. Гидропривод закрытой гидросистемы, основной контур.</p> <p>73. Гидропривод открытой гидросистемы.</p> <p>74. Логические элементы.</p> <p>75. Реализация логических функций в гидро- и пневмосистемах.</p> <p>76. Построение систем управления комбинационного типа.</p> <p>77. Методы построение многотактных систем управления.</p> <p>78. Статические характеристики исполнительных механизмов поступательного и вращательного действия: (механическая, скоростная).</p> <p>79. Исполнительные механизмы с объемным регулированием скорости.</p> <p>80. Исполнительные механизмы с дроссельным регулированием.</p> <p>81. Пропорциональные клапаны, Принципы работы.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции                                     | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                                                      | <p>82. Компенсация нагрузки с помощью клапанов постоянной разности давлений.</p> <p>83. Электроника управления для пропорциональных клапанов.</p> <p>84. Критерии для определения параметров управления с помощью пропорциональных клапанов.</p> <p>85. Сервоклапаны. Принципы работы.</p> <p>86. Аппаратная техника.</p> <p>87. Контур регулирования.</p> <p>88. Влияние динамических свойств сервоклапана на контур регулирования.</p> <p>89. Фильтрация на гидравлических установках с сервоклапанами и пропорциональными клапанами.</p> <p>90. Примеры выполненных установок с использованием пропорциональных клапанов.</p> <p>91. Примеры выполненных установок с использованием сервоклапанов.</p> <p>92. Эксплуатация пропорциональной техники и следящего гидропривода.</p> |
| ПК-1.2:        | Проектирует природоохранную деятельность при открытых горных работах | <p><b>Примерные практические задания для зачета:</b></p> <p>1. В двустороннем гидроцилиндре диаметр поршня <math>D = 160</math> мм, диаметры штоков <math>d_1=80</math>мм и <math>d_2 = 100</math> мм. При рабочем давлении <math>p = 10</math> МПа, противодавлении в сливной полости <math>p_{\text{сп}} = 0,15</math> МПа и расходе масла рабочей полостью <math>0,1</math> л/с определить усилие и скорость, развиваемые штоком при движении вправо и влево. Принять механический КПД гидроцилиндра <math>0,96</math>; объемный – <math>1</math>.</p>                                                                                                                                                                                                                            |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <div data-bbox="913 323 1285 437" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="947 523 2089 834">2. Жидкость, имеющая плотность <math>1200 \text{ кг/м}^3</math> и динамический коэффициент вязкости <math>2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}</math>, из бака с постоянным уровнем 1 самотеком поступает в реактор 2. Определить, какое максимальное количество жидкости (при полностью открытом кране) может поступать из бака в реактор. Уровень жидкости в баке находится на 6 м выше ввода жидкости в реактор. Трубопровод выполнен из алюминиевых труб с внутренним диаметром 50 мм. Общая длина трубопровода, включая местные сопротивления, 16,4 м. На трубопроводе имеются три колена и кран. В баке и реакторе давление атмосферное.</p> <div data-bbox="902 927 1187 1187" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="947 1273 2089 1385">3. Подобрать необходимый диаметр цилиндрического насадка (<math>\mu=0,82</math>) с таким расчетом, чтобы через него вытекало <math>77000 \text{ кг/ч}</math> нефти плотностью <math>865 \text{ кг/м}^3</math>. Напор <math>H</math> постоянный и равен 12 м.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции                                 | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1.3:        | Использует информационные технологии при проектировании карьеров | <p data-bbox="904 312 1800 336"><i>Примерные задания на решение задач из профессиональной области</i></p> <div data-bbox="913 373 1379 724"> </div> <p data-bbox="949 772 2085 1110">4. На рисунке показана упрощенная схема объемного гидропривода поступательного движения с дроссельным регулированием скорости выходного звена (штока), где 1 - насос, 2 - регулируемый дроссель. Шток гидроцилиндра 3 нагружен силой <math>F = 1200 \text{ Н}</math>; диаметр поршня <math>D = 40 \text{ мм}</math>. Предохранительный клапан 4 закрыт. Определить давление на выходе из насоса и скорость перемещения поршня со штоком <math>v_n</math> при таком открытии дросселя, когда его можно рассматривать как отверстие площадью <math>S_0 = 0,05 \text{ см}^2</math> с коэффициентом расхода <math>\mu = 0,62</math>. Подача насоса <math>Q = 0,5 \text{ л/с}</math>. Плотность жидкости <math>\rho = 900 \text{ кг/м}^3</math>. Потерями в трубопроводах пренебречь. Построить гидравлическую схему, задать настройку клапан 4, смоделировать работу ГС.</p> <p data-bbox="949 1214 2085 1441">5. Согласно заданной диаграммы перемещения разработать системы управления: 1 - используя релейно-контактные схемы; 2 - используя (симулятор) контроллера в программе FluidSim-Н. В задании: А и С – гидроцилиндры, В – гидромотор для всех вариантов. Нечетные варианты до 9: цилиндр С двустороннего действия вертикального расположения. Нагружен большим весом. Предусмотреть позиционирование в течение длительного времени. Четные варианты до 10: цилиндр А двустороннего действия</p> |

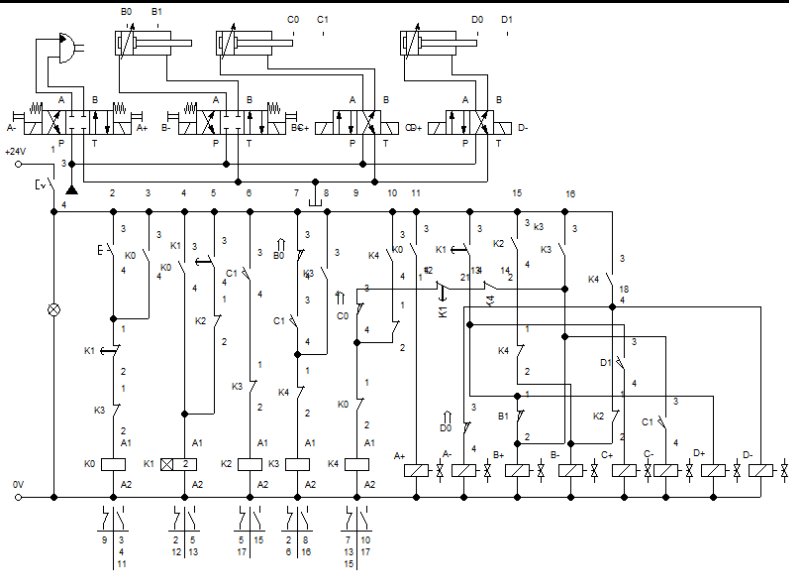
| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <p>вертикального расположения. Предусмотреть одинаковую и быструю скорость перемещения как при выдвижении, так и при втягивании. 11 - 16 варианты предусмотреть возможность дистанционного управления усилиями в ГЦ и моментом в гидромоторе в последней трети времени цикла. Для всех вариантов обеспечить плавный разгон гидромотора и его плавное торможение, а также предусмотреть режимы работы «Команда», «Цикл», «Автомат». Предусмотреть возможность эффективного использования энергии насосов. Добиться, по возможности, максимального КПД гидросистемы.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                |                                  | <div data-bbox="907 308 1415 627"> <p><b>13</b></p> </div> <div data-bbox="1464 308 2063 651"> <p><b>14</b></p> </div> <div data-bbox="907 719 1415 1129"> <p><b>15</b></p> </div> <div data-bbox="1518 719 2063 1098"> <p><b>16</b></p> </div> <p data-bbox="947 1217 2085 1289">6. Исходя из контактно-релейной схемы управления многодвигательным гидроприводом постройте диаграмму «перемещение-шаг» для 4 гидродвигателей</p> |

Код  
индикатора

Индикатор достижения компетенции

Оценочные средства



## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Гидромеханика» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета.

Зачет по данной дисциплине проводится в виде ответов на тестовые задания. Тесты выкладываются на портале МГТУ.

### ***Показатели и критерии оценивания зачета:***

«Зачтено» - выставляется при условии, если студент показывает хорошие знания учебного материала по темам курса, знает основные законы гидромеханики, устройство и принцип работы гидроаппаратов, умеет составлять принципиальные гидравлические и электрические схемы. При этом студент логично и последовательно излагает материал, раскрывает смысл вопроса, дает удовлетворительные ответы на дополнительные вопросы.

«Не зачтено» - выставляется при условии, если студент владеет отрывочными знаниями по темам курса, дает неполные ответы на вопросы из основной литературы, рекомендованной к курсу.

### **Методические рекомендации для подготовки к зачету**

При подготовке к экзамену у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Конспектирование должно осуществляться обучающимся только лишь самостоятельно. Просмотр собственных конспектов позволяет обучающемуся быстро восстанавливать в памяти содержание источника.

В начале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом опорные конспекты лекций. При этом нужно обратить особое внимание на темы учебных занятий, пропущенных студентом по разным причинам.

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

**Методическое обеспечение**

1. Мацко Е.Ю., Усов И.Г. Механика жидкости и газа: Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика» с использованием экспериментальной установки для студентов направлений 190100 и специальностей 190205. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2013. - 24с.
2. Мацко Е.Ю., Усов И.Г. Механика жидкости и газа: Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика» с использованием имитационных моделей для студентов направлений 190100 и специальностей 190205. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2013. – 40 с.
3. Макаров А.Н., Кутлубаев И.М. , Мацко Е.Ю., Кудряшов А.А., Усов И.Г. Опытное подтверждение механика жидкости жидкостными приборами: Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Механика жидкости и газа» для студентов специальностей 130400, 190109, 150201, 151001 всех форм обучения. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2013. - 22с.
4. Попов, П. Е. Гидропневмопривод технологического оборудования : учебное пособие / П. Е. Попов, Д. А. Блохин, П. В. Назаров. — Омск : ОмГТУ, 2022. — 82 с. — ISBN 978-5-8149-3443-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/343601> (дата обращения: 16.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.