

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра подъемно-транспортных, строительных,
дорожных машин и оборудования**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И. Луковникова

« _____ » _____ 20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПНЕВМОПРИВОД**

Б1.В.12

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

**Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и
оборудование**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	8
4.3 Лабораторные работы.....	10
4.4 Практические занятия.....	11
4.5. Контрольные мероприятия: курсовая работа, контрольная работа.....	11
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	15
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	16
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	16
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	17
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	17
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.....	18
9.2. Методические указания по выполнению курсовой работы, контрольной работы ..	70
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	72
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	72
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	73
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	79
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	80

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к проектно-конструкторскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

- осуществление информационного поиска по основам гидравлики и гидропневмопривода СДМ;
- участие в составе коллектива исполнителей при производстве и испытании гидроагрегатов СДМ.

Задачи дисциплины

- дать общие сведения об основных тенденциях и направлениях в развитии гидрооборудования, используемых на предприятиях строительного комплекса;
- дать общие сведения об основных научно-технических проблемах и перспективах развития науки и техники в области строительной индустрии.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	знать: методики исследования конструкций наземных транспортно-технологических систем; уметь: проводить исследования конструкций наземных транспортно-технологических систем; владеть: методиками исследования конструкций наземных транспортно-технологических систем;
ПК-4	Способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов	знать: основы конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов; уметь: разрабатывать основы конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов; владеть: навыками разработки конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.12 Гидравлика и гидропневмопривод относится к вариативной части.

Дисциплина Гидравлика и гидропневмопривод базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: Физика, Техническая физика.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин Гидравлика и гидропневмопривод представляет основу для изучения дисциплин: Эксплуатация ПТ СМДиО, Машины для земляных работ, Технология производства и ремонт ПТ СДМ

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	3,4	252	70	35	35	-	155	4КР, 3кр	4 экзамен
Заочная	3	-	252	16	8	8	-	227	КР	экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	1	-	180	12	6	6	-	159	КР	экзамен
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час	
			3	4
1	2	3	4	5
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	70	16	34	36
Лекции (Лк)	35	10	17	18
Лабораторные работы (ЛР)	35	6	17	18
Курсовая работа	+	-	-	+
Контрольная работа	+	-	+	-
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+	+
II. Самостоятельная работа обучающихся	155	-	74	81

(СР)				
Подготовка к лабораторным работам	95	-	50	45
Подготовка к экзамену в течение семестра	6	-	-	6
Выполнение курсовой работы	30	-	-	30
Выполнение контрольной работы	24		24	-
III. Промежуточная аттестация экзамен	27	-	-	27
Общая трудоемкость дисциплины час. зач. ед.	252	-	108	144
	7	-	3	4

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий - для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.	14	2	2	10
2.	Основы гидростатики. Основы гидродинамики.	27	4	4	19
3.	Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.	35	5	10	20
4.	Гидравлический расчет простых трубопроводов.	12	3	-	9
5.	Гидравлические машины.	12	2	-	10
6.	Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.	14	2	2	10
7.	Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители	26	5	2	19

8.	Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем	24	4	2	18
9.	Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).	15	2	3	10
10.	Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.	12	2	-	10
11.	Схемы типовых гидросистем.	12	2	-	10
12.	Пневматический привод.	22	2	10	10
	ИТОГО	225	35	35	155

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.	15,5	0,5	1	14
2.	Основы гидростатики. Основы гидродинамики.	30	1	1	28
3.	Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.	30	1	1	28
4.	Гидравлический расчет простых трубопроводов.	14,5	0,5	-	14
5.	Гидравлические машины.	14,5	0,5	-	14
6.	Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.	16,5	0,5	1	15

7.	Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители	30	1	1	28
8.	Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем.	31	1	1	29
9.	Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).	15,5	0,5	1	14
10.	Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.	15,5	0,5	-	15
11.	Схемы типовых гидросистем.	14,5	0,5	-	14
12.	Пневматический привод.	15,5	0,5	1	14
ИТОГО		243	8	8	227

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоёмкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.	11,5	0,5	0,5	10
2.	Основы гидростатики. Основы гидродинамики.	20,5	0,5	0,5	19
3.	Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.	22,5	0,5	0,5	20
4.	Гидравлический расчет простых трубопроводов.	9,5	0,5	-	9
5.	Гидравлические машины.	10,5	0,5	-	10
6.	Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.	11,5	0,5	0,5	10

7.	Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители	20,5	0,5	1	19
8.	Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем.	19,5	0,5	1	18
9.	Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).	11,5	0,5	1	10
10.	Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.	10,5	0,5	-	10
11.	Схемы типовых гидросистем.	10,5	0,5	-	12
12.	Пневматический привод.	12,5	0,5	1	12
ИТОГО		171	6	6	159

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам.

<i>№ раздела и темы</i>	<i>Наименование раздела и темы дисциплины</i>	<i>Содержание лекционных занятий</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2	3	4
1.	Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.	Краткая история развития гидравлики. Жидкость и силы действующие на нее. Механические характеристики и основные свойства жидкостей	Лекция-диспут (2 час.)
2.	Основы гидростатики. Основы гидродинамики.	Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики. Давление жидкости на плоскую наклонную стенку. Давление жидкости на цилиндрическую поверхность. Закон Архимеда и его приложение. Поверхности равного давления Основные понятия о движении жидкости. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости. Уравнение Бернулли для реальной жидкости. Измерение скорости потока и расхода жидкости.	-
3.	Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.	Режимы движения жидкости. Кавитация. Потери напора при ламинарном течении жидкости. Потери напора при турбулентном течении жидкости. Местные гидравлические сопротивления Истечение через малые отверстия в тонкой	-

		стенке при постоянном напоре. Истечение при несовершенном сжатии. Истечение под уровень. Истечение через насадки при постоянном напоре. Истечения через отверстия и насадки при переменном напоре (опорожнение сосудов). Истечение из-под затвора в горизонтальной лотке. Давление струи жидкости на ограждающие поверхности.	
4.	Гидравлический расчет простых трубопроводов.	Простой трубопровод постоянного сечения. Соединения простых трубопроводов. Сложные трубопроводы. Трубопроводы с насосной подачей жидкостей. Гидравлический удар. Изменение пропускной способности трубопроводов в процессе их эксплуатации	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)
5.	Гидравлические машины.	Лопастные насосы. Поршневые насосы. Индикаторная диаграмма поршневых насосов. Баланс энергии в насосах. Обозначение элементов гидро- и пневмосистем.	-
6.	Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.	Структурная схема гидропривода. Классификация и принцип работы гидроприводов. Преимущества и недостатки гидропривода. Характеристика рабочих жидкостей. Выбор и эксплуатация рабочих жидкостей. Гидравлические линии. Соединения. Расчет гидролиний.	-
7.	Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители	Некоторые термины и определения. Гидравлические машины шестеренного типа. Пластинчатые насосы и гидромоторы. Радиально-поршневые насосы и гидромоторы. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы. Механизмы с гибкими разделителями. Классификация гидроцилиндров. Гидроцилиндры прямолинейного действия. Расчет гидроцилиндров. Поворотные гидроцилиндры. Общие сведения. Золотниковые гидрораспределители. Крановые гидрораспределители. Клапанные гидрораспределители.	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)
8.	Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем	Общие сведения о гидроаппаратуре. Напорные гидроклапаны. Редукционный клапан. Обратные гидроклапаны. Ограничители расхода. Делители (сумматоры) потока. Дроссели и регуляторы расхода Гидробаки и теплообменники. Фильтры. Уплотнительные устройства. Гидравлические аккумуляторы. Гидрозамки. Гидравлические реле давления и времени. Средства измерения.	-
9.	Гидравлические следящие приводы	Общие сведения. Классификация гидроусилителей. Гидроусилитель	-

	(гидроусилители).	золотникового типа. Гидроусилитель с соплом и заслонкой. Гидроусилитель со струйной трубкой. Двухкаскадные усилители.	
10.	Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.	Способы разгрузки насосов от давления. Дроссельное регулирование. Объемное регулирование. Комбинированное регулирование. Сравнение способов регулирования.	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)
11.	Схемы типовых гидросистем.	Гидросистемы с регулируемым насосом и дросселем. Гидросистемы с двухступенчатым усилением. Гидросистемы непрерывного (колебательного) движения. Электрогидравлические системы с регулируемым насосом. Гидросистемы с двумя спаренными насосами. Питание одним насосом двух и несколько гидродвигателей	-
12.	Пневматический привод.	Общие сведения о применении газов в технике. Особенности пневматического привода, достоинства и недостатки. Течение воздуха. Исполнительные пневматические устройства	Разбор конкретных ситуаций (2 час.)

4.3. Лабораторные работы.

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторных работ</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Изучение физических свойств жидкости	2	-
2	2.	Изучение приборов для измерения давления	2	-
3	2.	Изучение гидростатического давления	2	-
4	3.	Изучение структуры потоков жидкости	2	-
5	3.	Определение режима течения	2	-
6	3.	Иллюстрация уравнения Бернулли	2	исследовательская деятельность (2 час.)
7	3.	Определение местных потерь напора	2	-
8	3.	Определение потерь напора по длине	2	-
9	6.	Сопротивление течению жидкости. Гидравлические характеристики	2	-
10	7.	Объемный насос. Напорный (переливной) клапан	2	-
11	8.	Управление усилием на исполнительном механизме	2	-
12	9.	Управление скоростью движения исполнительного механизма	3	исследовательская деятельность (2 час.)
13	12.	Прямое и не прямое управление пневмоцилиндрами	2	исследовательская деятельность

				(2 час.)
14	12.	Управление пневмоцилиндрами по скорости и положению	2	-
15	12.	Реализация логических функций в пневмосистемах	2	-
16	12.	Управление пневмоцилиндрами по времени и по давлению	2	-
17	12.	Релейно-контактные системы управления пневмоприводами	2	-
ИТОГО			35	6

4.4. Практические занятия.

Не предусмотрены.

4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа, курсовая работа.

Цель контрольной работы: углубление и расширение познаний студентов в области гидравлики и гидропневмопривода СДМ, научить их правильно принимать инженерные решения, обоснованные расчетами, а также научить пользоваться соответствующей научно-технической литературой, подготовить студента к выполнению курсовой работы.

Структура:

- титульный лист;
- задание на отдельном листе;
- основная часть (расчеты);
- заключение;
- список использованных источников.

Основная тематика контрольных работ:

1. Расчет перепадов давлений на гидравлических устройствах;
2. Расчет гидравлических схем технологических устройств;
3. Решение задач объемного гидравлического привода.

Рекомендуемый объем: Оформление контрольной работы: объем отчёта должен составлять 10-15 страниц печатного текста. Следует придерживаться следующих параметров оформления отчёта: формат листа отчёта – А4, размеры полей: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу 20 мм. Шрифт Times New Roman, кегль 14. Абзацный отступ – 1,5 см, выравнивание абзаца – по ширине, межстрочный интервал – полуторный.

Выдача задания и прием контрольной работы проводятся в соответствии с календарным учебным планом.

Оценка	Критерии оценки контрольной работы
отлично	Обучающийся продемонстрировал усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, сформированность и устойчивость используемых при ответе умений и навыков: умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их при выполнении практического задания; отвечал самостоятельно без наводящих вопросов преподавателя. Структура оформления контрольной работы соблюдена.
хорошо	При защите контрольной работы обучающийся допустил небольшие пробелы, не искавшие логического и информационного содержания ответа: один-два недочета при освещении основного содержания, исправленные по замечанию преподавателя; при ответе на дополнительные вопросы допущено не более 2-3 ошибок. Структура оформления контрольной работы соблюдена.
удовлетворительно	Содержание материала раскрыто не полностью, продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения программного материала, обучающийся

	продемонстрировал затруднения или допустил ошибки в определении понятий, использовании терминологии, формулах, исправленные после нескольких наводящих вопросов преподавателя; при проверке знаний теоретического материала выявлена недостаточная сформированность основных умений и навыков. При оформлении контрольной работы допущены ошибки.
неудовлетворительно	Не раскрыто содержание контрольной работы, обнаружено незнание или непонимание обучающимся большей или наиболее важной части учебного материала. При дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения контрольной работы

Цель курсовой работы: углубление и расширение познаний студентов в области гидравлики и гидропневмопривода СДМ, научить их правильно принимать инженерные решения, обоснованные расчетами, а также научить пользоваться соответствующей научно-технической литературой, подготовить студента к выполнению выпускной квалификационной работы.

Структура:

Отчёт по курсовой работе должен иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- задание на отдельном листе;
- содержание;
- список использованных сокращений и обозначений;
- введение [1-2 стр.];
- основная часть;
- заключение [1 стр.];
- список использованных источников.

Основная тематика: Проектирование гидравлической схемы крана (по варианту).

При защите курсовой работы обучающийся должен не только правильно излагать свои мысли, но и аргументировано отстаивать, защищать выдвигаемые выводы и решения.

Рекомендуемый объем: составлять 20-30 страниц печатного текста, графическая часть 1 лист формат – А1.

Выдача задания и прием курсовой работы проводятся в соответствии с календарным учебным планом.

Оценка	Критерии оценки курсовой работы
Отлично	Обучающийся продемонстрировал усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, сформированность и устойчивость используемых при ответе умений и навыков: умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их при выполнении практического задания; отвечал самостоятельно без наводящих вопросов преподавателя. Структура оформления курсовой работы соблюдена.
Хорошо	При защите курсовой работы обучающийся допустил небольшие пробелы, не исказившие логического и информационного содержания ответа: один-два недочета при освещении основного содержания, исправленные по замечанию преподавателя; при ответе на дополнительные вопросы допущено не более 2-3 ошибок. Структура оформления курсовой работы соблюдена.
удовлетворительно	Содержание материала раскрыто не полностью, но показано общее понимание темы курсовой работы, продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения программного материала, обучающийся продемонстрировал затруднения или допустил ошибки в определении понятий, использовании терминологии, расчетов,

	исправленные после нескольких наводящих вопросов преподавателя; при проверке знаний теоретического материала выявлена недостаточная сформированность основных умений и навыков. При оформлении курсовой работы допущены ошибки.
неудовлетворительно	Не раскрыто основное содержание курсовой работы, обнаружено незнание или непонимание обучающимся большей или наиболее важной части учебного материала. При дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения курсовой работы

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Компетенции</i>		Σ <i>комп.</i>	t_{cp} , час	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ПК</i>	<i>ОПК</i>				
		<i>4</i>	<i>2</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.	16	+	+	2	8	ЛК, ЛР, СР	экзамен, кр
2. Основы гидростатики. Основы гидродинамики.	29	+	+	2	14,5	ЛК, ЛР, СР	экзамен, кр
3. Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.	37	+	+	2	18,5	ЛК, ЛР, СР	экзамен, кр
4. Гидравлический расчет простых трубопроводов.	15	+	+	2	7	ЛК, СР	экзамен, кр
5. Гидравлические машины.	14	+	+	2	7	ЛК, СР	экзамен, кр
6. Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.	18	+	+	2	8	ЛК, ЛР, СР	экзамен, кр
7. Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители	28	+	+	2	14	ЛК, ЛР, СР	экзамен, КР
8. Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем	27	+	+	2	13	ЛК, ЛР, СР	экзамен, КР
9. Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).	17	+	+	2	9	ЛК, ЛР, СР	экзамен, КР
10. Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.	14	+	+	2	7	ЛК, СР	экзамен, КР
11. Схемы типовых гидросистем.	14	+	+	2	7	ЛК, СР	экзамен, КР
12. Пневматический привод.	23	+	+	2	13	ЛК, ЛР, СР	экзамен, КР
всего часов	252	126	126	2	126		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Гидравлические и пневматические машины : учебное пособие / Кононов А.А., Федоров В.С., Кобзов Д.Ю., Лобанов Д.В. – Братск: ФГБОУВО «БрГУ». – 2015. – 196 с.

<http://ecat.brstu.ru/catalog/учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/техника/кононов%20а.а.%20гидравлические%20и%20пневматические%20машины.уч.пособие.2015.pdf>

2. Основы гидравлики: учебное пособие / Кононов А.А., Федоров В.С., Кобзов Д.Ю., Лобанов Д.В. – Братск: ФГБОУВО «БрГУ». – 2015. – 92 с.

<http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Техника/Кононов%20А.А.%20Гидравлические%20и%20пневматические%20машины.Уч.пособие.2015.pdf>

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания (автор, заглавие, выходные данные)	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
Основная литература				
1.	Удовин, В.Г. Гидравлика: учебное пособие / В.Г. Удовин, И.А. Оденба; Министерство образования и науки Российской Федерации. – Оренбург.: ОГУ, 2014 – 132 с.: схем, ил. – Библиогр. в кн.; То же [Электронный ресурс]. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=330600	Лк, ЛР, кр, КР, СР	ЭР	1
2.	Штеренлихт, Д. В. Гидравлика [Электронный ресурс]: учеб. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург.: Лань, 2015. – 656 с. – Режим доступа : http://e.lanbook.com/book/64346	Лк, ЛР, КР, СР	ЭР	1
Дополнительная литература				
3.	Гидравлика, гидромашин и гидроприводы.: учебник / Т.М. Башта, С.С. Руднев [и др.]. – 2-е изд., перераб. – Москва: Машиностроение, 1982. – 423 с.	Лк, кр, КР, СР	528	1
4.	Козырь, И.Е. Практикум по гидравлике [Электронный ресурс]: учеб. метод. пособие/И.Е. Козырь, И.Ф. Пикалова, Н.В. Ханов. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург.: Лань, 2016. – 176 с. – Режим доступа http://e.lanbook.com/book/72985	ЛР, кр, КР, СР	ЭР	1
5.	Крестин, Е.А. Задачник по гидравлике с примерами расчетов [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Е.А. Крестин, И.Е. Крестин. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург.: Лань, 2018. – 320 с. – Режим доступа http://e.lanbook.com/book/98240	ЛР, КР, СР	ЭР	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

В ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации.

Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В ходе подготовки к лабораторным работам изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой.

Лабораторные работы выполняются группами из 2-3 человек.

Отчеты по лабораторным работам должны содержать:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Принципиальная схема работы лабораторной установки.
4. Поэтапное выполнение задания.
5. Заключение.

При подготовке к экзамену (в конце семестра) повторять пройденный материал в строгом соответствии с учебной программой, примерным перечнем учебных вопросов, выносящихся на зачет и содержащихся в данной программе. Использовать конспект лекций и литературу, рекомендованную преподавателем. Обратит особое внимание на темы учебных занятий, пропущенных студентом по разным причинам. При необходимости обратиться за консультацией и методической помощью к преподавателю.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;

- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется обучающимся по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Содержание внеаудиторной самостоятельной определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно примерной и рабочей программ учебной дисциплины.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы являются:

- *для овладения знаниями*: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.

- *для закрепления и систематизации знаний*: работа с конспектом лекции, обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- *для формирования умений*: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, опытно экспериментальная работа, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа осуществляется индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.

Отчеты по лабораторным работам оформляется на листах формата А4.

Отчеты должны содержать:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Принципиальная схема работы лабораторной установки.
4. Поэтапное выполнение задания.
5. Заключение.

Лабораторная работа № 1

Изучение физических свойств жидкости

Цель работы: Освоение техники измерения плотности, теплового расширения, вязкости и поверхностного натяжения жидкостей.

Задание: измерить плотность, тепловое расширение, вязкость и поверхностное натяжение жидкостей, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Жидкостью называют малосжимаемое тело, изменяющее свою форму под действием весьма малых сил. Основные характеристики жидкости – плотность, сжимаемость, тепловое расширение, вязкость и поверхностное натяжение

Плотностью – отношение массы m жидкости к ее объему W : $\rho = m/W$.

Сжимаемость – свойство жидкости уменьшать объем под действием давления. Она оценивается *коэффициентом сжимаемости* β_P , показывающим относительное уменьшение объема жидкости W при повышении давления p на единицу: $\beta_P = (\Delta W/W)/\Delta p$.

Тепловое расширение – свойство жидкости изменять объем при нагревании – характеризуется *коэффициентом теплового расширения* β_T , равным относительному приращению объема W с изменением температуры T на один градус при постоянном давлении: $\beta_T = (\Delta W/W)/\Delta T$. Как правило, при нагревании объем жидкости увеличивается.

Вязкость – свойство жидкости сопротивляться относительному скольжению ее слоев. Ее оценивают *динамическим коэффициентом вязкости* μ , который измеряется в паскаль – секундах (Па·с) и равен касательному напряжению между соседними слоями, если их относительная скорость перемещения численно совпадает с толщиной слоя. *Кинематический коэффициент вязкости* ν определяют из формулы $\nu = \mu/\rho$ и измеряют квадратными метрами на секунду ($\text{м}^2/\text{с}$) или стоксами ($1\text{Ст} = 1\text{см}^2/\text{с}$). Эти коэффициенты определяются видом жидкости, не зависят от скорости течения, существенно уменьшаются с возрастанием температуры.

Поверхностное натяжение – свойство жидкости образовывать поверхностный слой взаимно притягивающихся молекул – характеризуется *коэффициентом поверхностного натяжения* σ , равным силе на единице длины контура свободной поверхности. Значения ρ , β_P , β_T , ν и σ при 20°C указаны в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Жидкость	ρ , кг/м ³	$\beta_P \cdot 10^3$, МПа ⁻¹	$\beta_T \cdot 10^3$, °C ⁻¹	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\sigma \cdot 10^3$, Н/м
Вода пресная	998	0,49	0,15	1,01	73
Спирт этиловый	790	0,78	1,10	1,52	23
Масло:					
моторное М-10	900	0,60	0,64	800	25
индустриальное 20	900	0,72	0,73	110	25
трансформаторное	890	0,70	0,70	30	25
АМГ – 10	850	0,83	0,83	20	25

Описание устройства № 1

Устройство для изучения физических свойств жидкости содержит 5 приборов, выполненных в общем прозрачном корпусе (рис. 1.1), на котором указаны параметры для обработки опытных данных. Приборы 3 – 5 начинают действовать при перевертывании устройства № 1. Термометр 1 показывает температуру окружающей среды и, следовательно, температуру жидкостей во всех устройствах.

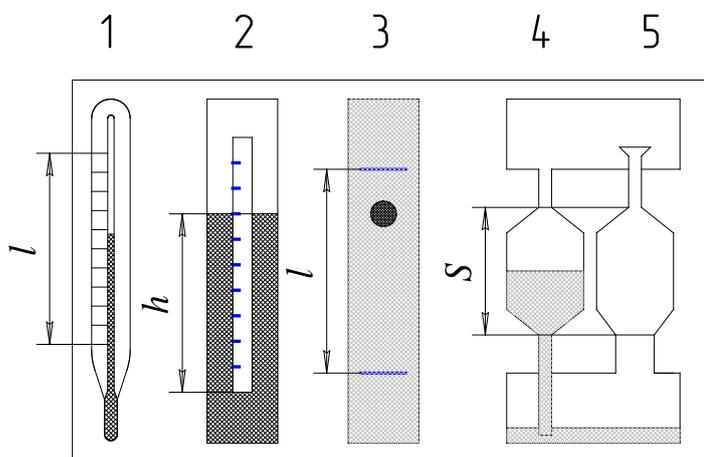


Рис. 1.1. - Схема устройства № 1:

1 – термометр; 2 – ареометр; 3 – вискозиметр Стокса; 4 – капиллярный вискозиметр; 5 – сталагмометр.

Определение коэффициента теплового расширения жидкости

Термометр 1 имеет стеклянный баллон с капилляром, заполненный термометрической жидкостью, и шкалу. Принцип его действия основан на тепловом расширении жидкостей. Варьирование температуры окружающей среды приводит к соответствующему изменению объема термометрической жидкости и ее уровня в капилляре. Уровень указывает на шкале значение температуры.

Коэффициент теплового расширения термометрической жидкости определяется в следующем порядке на основе мысленного эксперимента, т.е. предполагается, что температура окружающей среды повысилась от нижнего (нулевого) до верхнего предельных значений термометра и уровень жидкости в капилляре возрос на величину l .

1. Подсчитать общее число градусных делений ΔT в шкале термометра и измерить расстояние l между крайними штрихами шкалы.

2. Вычислить приращение объема термометрической жидкости $\Delta W = \pi r^2 l$, где r – радиус капилляра термометра.

3. С учетом начального (при 0°C) объема термометрической жидкости W найти значение коэффициента теплового расширения $\beta_T = (\Delta W/W)/\Delta T$ и сравнить его со справочным значением β^*_T (табл. 1.1). Значения используемых величин занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Вид жидкости	r , см	W , см ³	ΔT , °C	l , см	ΔW , см ³	β_T , °C ⁻¹	β^*_T , °C ⁻¹
Спирт							

Измерение плотности жидкости ареометром

Ареометр 2 служит для определения плотности жидкости поплавковым методом. Он представляет собой пустотелый цилиндр с миллиметровой шкалой и грузом в нижней части. Благодаря грузу ареометр плавает в исследуемой жидкости в вертикальном положении. Глубина погружения ареометра является мерой плотности жидкости и считывается со шкалы по верхнему краю мениска жидкости вокруг ареометра. В обычных ареометрах шкала отградуирована сразу по плотности.

В ходе работы выполнить следующие операции.

1. Измерить глубину погружения h ареометром по миллиметровой шкале на нем.

2. Вычислить плотность жидкости по формуле $\rho = 4m/(\pi d^2 h)$, где m и d – масса и диаметр ареометра. Эта формула получена путем приравнивания силы тяжести ареометра $G = mg$ и выталкивающей (архимедовой) силы $P_A = \rho g W$, где объем погруженной части ареометра $W = (\pi d^2/4)h$.

3. Сравнить опытное значение плотности ρ со справочным значением ρ^* (см. табл.1.1). Значения используемых величин свести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Вид жидкости	m , г	d , см	h , см	ρ , г/см ³	ρ^* , г/см ³
Вода					

Определение вязкости вискозиметром Стокса

Вискозиметр Стокса 3 достаточно прост, содержит цилиндрическую емкость, заполненную исследуемой жидкостью, и шарик. Прибор позволяет определить вязкость жидкости по времени падения шарика в ней следующим образом.

1. Повернуть устройство № 1 в вертикальной плоскости на 180° и зафиксировать секундомером время t прохождения шариком расстояние l между двумя метками в приборе 3. Шарик должен падать по оси емкости без сопротивления со стенками. Опыт выполнить три раза, а затем определить среднеарифметическое значение времени t .

2. Вычислить опытное значение кинематического коэффициента вязкости жидкости

$$v = gd^2 t (\rho_w / \rho - 1) / [18l + 43.2l(d/D)],$$

где g – ускорение свободного падения;

d, D – диаметры шарика и цилиндрической емкости;

ρ, ρ_w – плотности жидкости и материала шарика.

3. Сравнить опытное значение коэффициента вязкости v с табличным значением v^* (см. табл. 1.1). Значение используемых величин свести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

Вид жидкости	ρ , кг/м ³	t , с	l , м	d , м	D , м	ρ_w , кг/м ³	v , м ² /с	v^* , м ² /с
М-10					0,02			

Примечание. В устройстве № 1 вместо вискозиметра Стокса может быть встроено вискозиметр – плотномер конструкции ТГАСУ, в котором шарик падает с малым зазором в открытой с обоих концов трубке. В этом случае следует: зафиксировать время падения шарика t и перепад уровней жидкости h в цилиндрической емкости и трубке; вычислить значения плотности жидкости $\rho = \rho_w / (1 + Ah)$ и кинематический коэффициент вязкости $v = Bht$, где A и B – постоянные прибора.

Измерение вязкости капиллярным вискозиметром

Капиллярный вискозиметр 4 включает емкость с капилляром. Вязкость определяется по времени истечения жидкости из емкости через капилляр.

1. Перевернуть устройство № 1 (см. рис. 1.1) в вертикальной плоскости и определить секундомером время t истечения через капилляр объема жидкости между метками (высотой S) из емкости вискозиметра 4 и температуру T по термометру 1.

2. Вычислить значение кинематического коэффициента вязкости $v = Mt$ (M – постоянная прибора) и сравнить его с табличным значением v^* (см. табл. 1.1). Данные свести в таблицу 1.5.

Таблица 1.5

Вид жидкости	M , м ² /с ²	t , с	v , м ² /с	T , °С	v^* , м ² /с
М-10					

Примечание. В табл. 1.1 приведены значения коэффициента вязкости жидкостей при температуре 20 °С. Поэтому опытные значения, полученные при другой температуре могут существенно отличаться от табличных значений.

Измерение поверхностного натяжения сталагмометром

Сталагмометр 5 служит для определения поверхностного натяжения жидкости методом отрыва капель и содержит емкость с капилляром, расширенным на конце для накопления жидкости в виде капли. Сила поверхностного натяжения в момент отрыва капли равна ее весу (силе тяжести) и поэтому определяется по плотности жидкости и числу капель, полученному при опорожнении емкости с заданным объемом.

1. Перевернуть устройство № 1 и подсчитать число капель, полученных в сталагмометре 5 из объема высотой S между двумя метками. Опыт повторить три раза и вычислить среднее арифметическое значение числа капель n .

2. Найти опытное значение коэффициента поверхностного натяжения $\sigma = K\rho/n$ (K – постоянная сталагмометра) и сравнить его с табличным значением σ^* (см. табл. 1.1). Данные свести в таблицу 1.6.

Таблица 1.6

Вид жидкости	$K, \text{ м}^3/\text{с}^2$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	n	$\sigma, \text{ Н}/\text{м}$	$\sigma^*, \text{ Н}/\text{м}$
М-10					

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое жидкость и на какие классы она подразделяется?
2. Понятие: удельный вес, плотность, вязкость жидкости и их единицы измерения.
3. Приборы для определения удельного веса (плотности) и вязкости жидкости.

Лабораторная работа № 2

Изучение приборов для измерения давления

Цель работы: Изучение устройства и принципа действия жидкостных приборов для измерения давления.

Задание: изучить устройство и принцип действия жидкостных приборов для измерения давления, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Гидростатическим давлением называют нормальное сжимающее напряжение в неподвижной жидкости, т. е. силу, действующую на единицу площади поверхности. За единицу измерения давления в международной системе принять паскаль ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$).

Различают абсолютное, атмосферное, манометрическое и вакуумметрическое давление.

Абсолютное (полное) *давление* p отсчитывается от абсолютного вакуума. *Атмосферное давление* p_a создается силой тяжести воздуха атмосферы и принимается в обычных условиях равным 101325 Па или 760 мм рт. ст. Избыток давления над атмосферным называют *манометрическим* (избыточным) *давлением* ($p_m = p - p_a$), а недостаток до атмосферного давления – *вакуумметрическим давлением* ($p_v = p_a - p$).

Приборы для измерения атмосферного давления назвали *барометрами*, манометрического – *манометрами*, вакуума – *вакуумметрами*. По принципу действия и типу рабочего элемента приборы подразделяются на жидкостные, механические и электрические.

Жидкостные приборы исторически стали применяться первыми. Их действие основано на принципе уравнивания измеряемого давления p силой тяжести столба жидкости высотой h в приборе:

$$p = \rho gh,$$

где ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

Поэтому величина давления может быть выражена высотой столба жидкости h (мм рт. ст., м вод. ст.). Преимуществами жидкостных приборов являются простота конструкции и высокая точность, однако они удобны только при измерении небольших давлений.

В механических приборах измеряемое давление вызывает деформацию чувствительного элемента (трубка, мембрана, сильфон), которая с помощью специальных механизмов передается на указатель. Такие приборы компактны и имеют большой диапазон измеряемых давлений.

В электрических приборах воспринимаемое чувствительным элементом давление преобразуется в электрический сигнал. Сигнал регистрируется показывающим (вольтметр, амперметр) или пишущим (самописец, осциллограф) приборами. В последнем случае можно фиксировать давление при быстротекающих процессах.

Описание устройства № 2 и жидкостных приборов

Ртутный барометр состоит из вертикальной стеклянной трубки с миллиметровой шкалой и закрытым верхним концом, которая заполнена ртутью, и чаши с ртутью, в которую опущена трубка нижним концом. Таким прибором впервые было измерено атмосферное давление итальянским ученым Э. Торричелли в 1642 г.

Для демонстрации других приборов служит *устройство № 2*, которое выполнено прозрачным и имеет полость 1, в которой всегда сохраняется атмосферное давление, и резервуар 2, частично заполненный водой (рис. 2.1, а). Для измерения давления и уровня жидкости в резервуаре 2 служат жидкостные приборы 3, 4 и 5. Они представляют собой прозрачные вертикальные каналы со шкалами, размеченными в единицах длины.

Однотрубный манометр (пьезометр) 3 сообщается верхним концом с атмосферой, а нижним – с резервуаром 2. Им определяется манометрическое давление $p_m = \rho g h_n$ на дне резервуара.

Уровнемер 4 соединен обоими концами с резервуаром и служит для измерения уровня жидкости H в нем.

Мановакуумметр 5 представляет собой U – образный канал, частично заполненный жидкостью. Левым коленом он подключен к резервуару 2, а правым – к полости 1 и предназначен для определения манометрического $p_{mo} = \rho g h_m$ (рис. 2.1, а) или вакуумметрического $p_{во} = \rho g h_v$ (рис. 2.1, б) давлений над свободной поверхностью жидкости в резервуаре 2. Давление в резервуаре можно изменять путем наклона устройства.

При повороте устройства в его плоскости на 180° против часовой стрелки (рис. 2.1, в) канал 4 остается уровнемером, колено мановакуумметра 5 преобразуется в пьезометр 6, а пьезометр 3 – в вакуумметр (обратный пьезометр) 7, служащий для определения вакуума $p_{во} = \rho g h_v$ над свободной поверхностью жидкости в резервуаре 2.

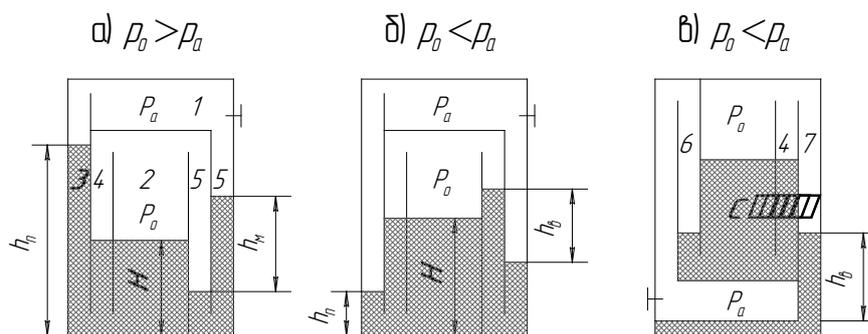


Рис. 2.1. - Схема устройства № 2:

1 – полость с атмосферным давлением; 2 – опытный резервуар; 3 – пьезометр; 4 – уровнемер; 5 – мановакуумметр; 6 – пьезометр; 7 – вакуумметр

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.

2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какое давление называют абсолютным (вакуумметрическим, манометрическим)?
2. Какие единицы измерения давления вы знаете?
3. В чем заключается принцип действия жидкостных приборов? Их достоинства и недостатки.
4. Какой недостаток у механических приборов для измерения давления? Какими достоинствами обладают жидкостные манометры?

Лабораторная работа № 3

Изучение гидростатического давления

Цель работы: Приобретение навыков по измерению гидростатического давления жидкостными приборами.

Задание: произвести измерения гидростатического давления жидкостными приборами, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Абсолютное давление в любой точке покоящейся жидкости определяется по *основному уравнению гидростатики*

$$p = p_o + \rho g H,$$

где p_o – абсолютное давление на свободной поверхности жидкости;

ρ – плотность жидкости;

H – глубина погружения точки под свободной поверхностью.

В работе вычисляется давление в заданной точке (например, на дне резервуара) через показания различных приборов и затем сравниваются результаты, полученные двумя путями.

Порядок выполнения работы:

1. В резервуаре 2 над жидкостью создать давление выше атмосферного ($p_o > p_a$), о чем свидетельствуют превышение уровня жидкости в пьезометре 3 над уровнем в резервуаре и прямой перепад уровней в мановакуумметре 5 (рис. 2.1, а). Для этого устройство поставить на правую сторону, а затем поворотом его против часовой стрелки отлить часть жидкости из левого колена мановакуумметра 5 в резервуар 2.

2. Снять показания пьезометра h_n , уровнемера H и мановакуумметра h_m .

3. Вычислить абсолютное давление на дне резервуара через показания пьезометра, а затем – через величины, измеренные уровнемером и мановакуумметром. Для оценки сопоставимости результатов определения давления на дне резервуара двумя путями найти относительную погрешность δp .

4. Над свободной поверхностью жидкости в резервуаре 2 создать вакуум ($p_o < p_a$), когда уровень жидкости в пьезометре 3 становится ниже, чем в резервуаре, а на мановакуумметре 5 появляется обратный перепад h_e (рис. 2.1, б). Для этого поставить устройство на левую сторону, а затем наклоном вправо отлить часть жидкости из резервуара 2 в левое колено мановакуумметра 5. Далее выполнить операции по п.п. 2 и 3.

5. Перевернуть устройство против часовой стрелки (рис. 2.1, в) и определить манометрическое или вакуумметрическое давление в заданной преподавателем точке C через показания пьезометра 6, а затем с целью проверки найти его через показания обратного пьезометра 7 и уровнемера 4.

В процессе проведения опытов и обработки экспериментальных данных заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначения Формулы	Условия опыта	
			$P_o > P_a$	$P_o < P_a$
1.	Пьезометрическая высота, м	h_n		
2.	Уровень жидкости в резервуаре, м	H		
3.	Манометрическая высота, м	h_m		-----
4.	Вакуумметрическая высота, м	h_v	-----	
5.	Абсолютное давление на дне резервуара по показанию пьезометра, Па	$p = p_a + \rho g h_n$		
6.	Абсолютное давление в резервуаре над жидкостью, Па	$p_o = p_a + \rho g h_m$		-----
7.	Абсолютное давление на дне резервуара через показания мановакуумметра и уровнемера, Па	$p_o = p_a - \rho g h_v$	-----	
8.	Относительная погрешность результатов определения давления на дне резервуара, %	$p^* = p_o + \rho g H$ $\delta p = 100(p - p^*)/p$		

Примечание. Принять атмосферное давление $p_a = 101325$ Па, плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Запишите основную формулу гидростатики и дайте объяснение ее составляющим.

Лабораторная работа № 4

Изучение структуры потоков жидкости

Цель работы: Наблюдение потоков жидкости с различной структурой и выявление факторов, влияющих на структуру.

Задание: определить факторы, влияющие на жидкости с различной структурой, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Различают два основных режима течения жидкости: *ламинарный* (слоистый) и *турбулентный* (вихревой). При ламинарном режиме частицы жидкости движутся по параллельным траекториям без перемешивания, поэтому поток имеет слоистую структуру, т.е. жидкость движется отдельными слоями. Турбулентное движение характеризуется пульсацией давления и скоростей частиц, что вызывает интенсивное перемешивание жидкости в потоке, т.е. вихревое движение.

При резком изменении поперечного сечения или направления канала от его стенки отрывается *транзитная струя*, а у стенки жидкость начинает двигаться в обратном направлении, приводя к вращению жидкости между транзитной струей и стенкой. Эта область называется *циркуляционной* (вальцовый) *зоной*.

Для визуализации течений применяют меченые частицы (например, частицы алюминия) или окрашенные (например, чернилами или тушью) струйки, которые показывают *траектории* движения множества частиц жидкости. Они еще называются *линиями тока*, если течение установившееся. При *установившемся* (стационарном) *течении* осредненные значения скорости и давления в каждой точке потока постоянны во времени. В этом случае расход, т.е. количество жидкости, проходящее через заданное сечение в единицу времени, также не изменяется во времени.

Описание устройства № 3

Устройство № 3 имеет прозрачный корпус (рис. 4.1, а), баки 1 и 2 с успокоительной стенкой 3 для гашения возмущений в жидкости от падения струй и всплывания пузырей воздуха. Баки между собой соединены каналами 4 и 5 с одинаковыми сечениями. Конец канала 4 снабжен перегородкой с щелью 6, а противоположный конец канала 5 – решеткой (перегородкой со множеством отверстий) 7. Устройство заполнено водой, содержащей микроскопические частицы алюминия для визуализации течения. Уровень воды в баке 2 измеряется по шкале 8.

Устройство работает следующим образом. В положениях устройства (рис. 4.1, а, б) поступающая через левый канал в нижний бак вода вытесняет воздух в виде пузырей в верхний бак. Поэтому давления на входе в канал (на дне верхнего бака) и над жидкостью в нижнем баке уравниваются и истечение происходит под действием постоянного напора H , создаваемого столбом жидкости в левом канале. Так обеспечивается установившееся (с постоянным во времени расходом) движение жидкости. Причем в канале 4 устанавливается ламинарный режим благодаря низким скоростям течения из-за большого сопротивления щели 6. В свою очередь малое гидравлическое сопротивление решетки 7 обеспечивает получение турбулентного течения в канале 5 за счет больших скоростей (рис. 4.1, б). Расход можно уменьшать наклоном устройства от себя.

В случаях, указанных на рис. 4.1, в, г, д в каналах 4 и 5 возникает неустановившееся (при переменном напоре и расходе) движение жидкости за счет непосредственного соединения воздушных полостей баков. Это позволяет проследить за изменением структуры потоков в процессе уменьшения их скорости до нуля.

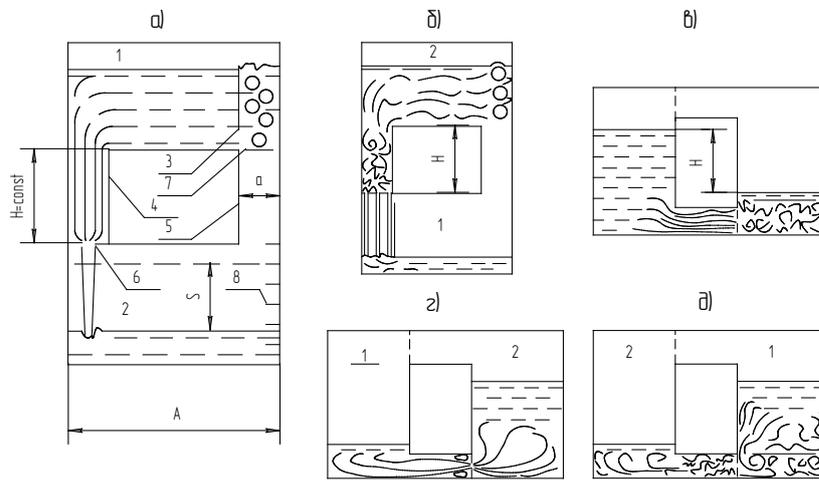


Рис. 4.1. - Схема устройства № 3:

1, 2 – баки; 3 – перегородка; 4, 5 – опытные каналы; 6 – щель; 7 – решетка; 8 –
уравнительная шкала

Порядок выполнения работы

1. Создать в канале 4 ламинарный режим движения жидкости. Для этого при заполненном водой баке 1 поставить устройство баков 2 на стол (см. рис. 4.1, а). Наблюдать структуру потока.

2. Повернуть устройство в вертикальной плоскости по часовой стрелке на 180° (см. рис. 4.1, б). Наблюдать турбулентный режим течения в канале 5.

3. При заполненном водой баке 2 поставить устройство так, чтобы канал 5 (с решеткой) занял нижнее горизонтальное положение (см. рис. 4.1, в). Наблюдать в канале процесс перехода от турбулентного режима движения к ламинарному. Обратит внимание, что решетка приводит к турбулизации потока за ней.

4. При заполненном водой баке 2 поставить устройство так, чтобы канал 4 (с щелью) занял нижнее горизонтальное положение (рис. 4.1, г). Наблюдать за структурой потока в баке 2 при внезапном сужении, внезапном расширении в канале за щелью и при выходе потока из канала в бак 1. Обратит внимание на циркуляционные (вальцовые) зоны, транзитную струю и связь скоростей с площадями сечений каналов.

5. При заполненном баке 1 наблюдать структуру течения при обтекании перегородки 3 (рис. 4.1, д).

6. Сделать зарисовку структуры потоков для случаев, указанных в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ламинарный режим	Турбулентный режим	Расширение потока	Обтекание стенки

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Основные режимы течения жидкости.

Лабораторная работа № 5

Определение режима течения

Цель работы: Освоение расчетного метода определения режима течения.

Задание: рассчитать число Рейнольдса, сделать вывод о режиме течения, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Критерием режима течения является число Рейнольдса

$$Re = Vd/\nu, \quad (5.1)$$

где V – средняя скорость потока;

d – внутренний диаметр трубы (канала);

ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

В инженерной практике режим определяют путем сравнения числа Рейнольдса Re с его критическим значением Re_k , соответствующим смене режимов движения жидкости. Для равномерных потоков жидкости в трубах (каналах) круглого сечения принимают $Re = 2300$. Режим считается ламинарным, если $Re < Re_k$ и турбулентным при $Re \geq Re_k$.

Из выражения (4.1) следует, что числа Рейнольдса малы и, следовательно, режим ламинарный, при низких скоростях течения в каналах незначительного поперечного сечения (в порах грунта, капиллярах) или при движении жидкости с большой вязкостью (нефть, масло, битумы).

Турбулентный режим в природе и технике встречается чаще. Его закономерностям подчиняется движение воды в реках, ручьях, каналах, системах водоснабжения и водоотведения, а также течение бензина, керосина и других маловязких жидкостей в трубах.

Порядок выполнения работы

1. Создать в канале 4 течение жидкости (рис. 4.1, а) при произвольном наклоне устройства № 3 от себя.

2. Измерить время t перемещения уровня воды в баке на некоторое расстояние S и снять показания термометра T , находящегося в устройстве № 1.

3. Подсчитать число Рейнольдса по порядку, указанному в табл. 5.1.

4. Повернуть устройство в его плоскости на 180° (рис. 4.1, б) и выполнить операции по п.п. 2, 3.

5. Сравнить полученные значения чисел Рейнольдса между собой и затем на основе сравнения с критическим значением сделать вывод о режиме течения.

Таблица 5.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	№ опыта	
			1	2
1.	Изменение уровня воды в баке, см	S		
2.	Время наблюдения за уровнем, с	t		
3.	Температура воды, °С	T		
4.	Кинематический коэффициент вязкости воды, см ² /с	$\nu = 17.9 / (1000 + 34T + 0.22T^2)$		
5.	Объем воды, поступившей в бак за время t , см ³	$W = ABS$		

6.	Расход воды, см ³ /с	$Q=W/t$		
7.	Средняя скорость течения в канале, см/с	$V=Q/\omega$		
8.	Число Рейнольдса	$Re=Vd/\nu$		
9.	Название режима течения	$Re(<, >)Re_{к}=230$ 0		

$A=...см; B=...см; d=...см; \omega=...см^2$

Примечание. Размеры поперечного сечения бака (А, В), гидравлический диаметр d и площадь поперечного сечения ω опытных каналов указаны на корпусе устройства № 3.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Число Рейнольдса.

Лабораторная работа № 6

Иллюстрация уравнения Бернулли

Цель работы: Опытное подтверждение уравнения Д. Бернулли, т.е. понижения механической энергии по течению и перехода потенциальной энергии в кинетическую и обратно (связи давления со скоростью).

Задание: выяснить соответствие изменений энергий уравнению Бернулли, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Уравнение Д. Бернулли выражает закон сохранения энергии и для двух сечений потока реальной жидкости в упрощенном виде записывается так:

$$P_1/(\rho g) + V_1^2/(2g) = P_2/(\rho g) + V_2^2/(2g) + h_{TR},$$

где P – давление; V – средняя скорость потока в сечении; ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения; h_{TR} – суммарные потери напора на преодоление гидравлических сил трения между сечениями 1-1 и 2-2; индексы «1» и «2» указывают номер сечения, к которому относится величина.

Слагаемые уравнения выражают *энергии*, приходящиеся на единицу веса (силы тяжести) жидкости, которые в гидравлике принято называть *напорами*: $P/(\rho g) = H_n$ – *пьезометрический* напор (потенциальная энергия), $V^2/(2g) = H_k$ – *скоростной* напор (кинетическая энергия), $P/(\rho g) + V^2/(2g) = H$ – *полный* напор (полная механическая энергия жидкости), h_{TR} – потери напора (механической энергии за счет ее преобразования в тепловую энергию). Такие энергии измеряются в единицах длины, т.к. $Дж/Н = Нм/Н = м$.

Из уравнения следует, что в случае отсутствия теплообмена потока с внешней средой *полная удельная энергия* (включая тепловую) *неизменна вдоль потока*, и поэтому изменение одного вида энергии приводит к противоположному по знаку изменению другого. Таков *энергетический смысл* уравнения Бернулли. Например, при расширении потока скорость V и,

следовательно, кинетическая энергия $V^2/(2g)$ уменьшаются, что в силу сохранения баланса вызывает увеличение потенциальной энергии $P/(\rho g)$. Другими словами, понижение скорости потока V по течению приводит к возрастанию давления P , и наоборот.

Описание устройства № 4

Устройство № 4 содержит баки 1 и 2, сообщаемые через опытные каналы переменного 3 и постоянного 4 сечений (рис. 6.1). Каналы соединены между собой равномерно расположенными пьезометрами I-V, служащими для измерения пьезометрических напоров в характерных сечениях. Устройство заполнено подкрашенной водой. В одном из баков предусмотрена шкала 5 для измерения уровня воды.

При перевертывании устройства благодаря постоянству напора истечения H_0 во времени, обеспечивается установившееся движение воды в нижнем канале. Другой канал в это время пропускает воздух, вытесняемый жидкостью из нижнего бака в верхний.

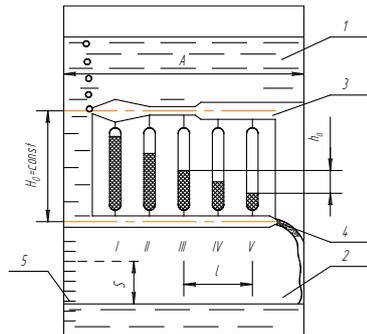


Рис. 6.1. Схема устройства № 4:
1, 2 – баки; 3, 4 – опытные каналы переменного и постоянного сечения; 5 – уровневая шкала; I-V – пьезометры

Порядок выполнения работы

1. При заполненном водой баке 2 (рис. 6.1) перевернуть устройство для получения течения в канале переменного сечения 3.
2. Снять показания пьезометров $H_{II} = P/(\rho g)$ по нижним частям менисков воды в них.
3. Измерить время t перемещения уровня в баке на произвольно заданную величину S .
4. По размерам A и B поперечного сечения бака, перемещению уровня S и времени t определить расход Q воды в канале, а затем скоростные H_K и полные H напоры в сечениях канала по порядку, указанному в таблице 6.1.

Таблица 6.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	Сечения канала					
			I	II	III	IV	V	VI
1.	Площадь сечения канала, см	ω						
2.	Средняя скорость, см/с	$V = Q/\omega$						
3.	Пьезометрический напор, см	$H_{II} = P/(\rho g)$						
4.	Скоростной напор, см	$H_K = V^2/(2g)$						
5.	Полный напор, см	$H = P/(\rho g) + V^2/(2g)$						

$$A = \dots \text{см}; B = \dots \text{см}; S = \dots \text{см}; t = \dots \text{с}; Q = ABS/t = \dots \text{см}^3/\text{с}$$

5. Вычертить в масштабе канал с пьезометрами (рис. 6.2). Соединив уровни жидкости в пьезометрах и центром выходного сечения VI, получить *пьезометрическую линию* 1, показывающую изменение потенциальной энергии (давления) вдоль потока. Для получения *напорной линии* 2 (линии полной механической энергии) отложить от оси канала полные напоры H и соединить полученные точки.

6. Проанализировать изменение полной механической H , потенциальной $P/(\rho g)$ и кинетической $V^2/(2g)$ энергий жидкости вдоль потока; выяснить соответствие этих изменений уравнению Бернулли.

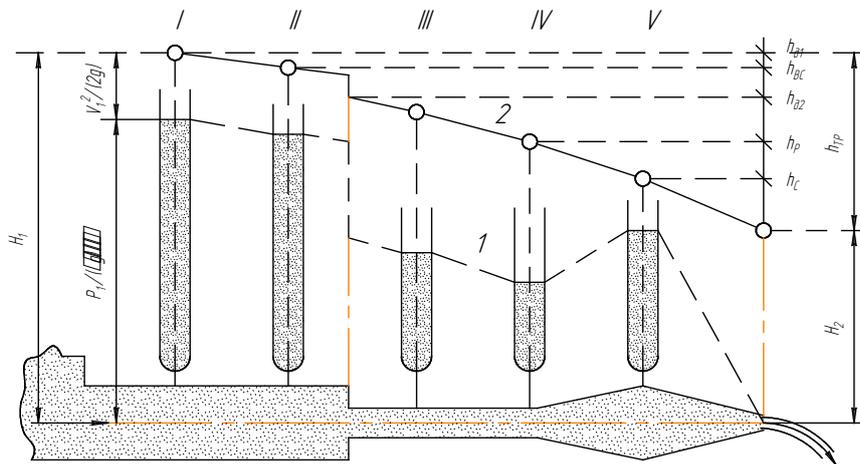


Рис. 6.2. - Иллюстрация уравнения Бернулли:

1, 2 – пьезометрическая и напорная линии; H_1, H_2 – полные напоры (механические энергии) на входе и выходе из канала; $h_{TP}, h_{д1}, h_{д2}, h_{BC}, h_P, h_C$ – потери напора: суммарные, по длине на 1^{ом} и 2^{ом} участках, на внезапное сужение, на плавные расширения и сужения.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. В чем заключается геометрический и энергетический (физический) смысл уравнений Бернулли для потоков идеальной и реальной жидкостей?

Лабораторная работа № 7

Определение местных потерь напора

Цель работы: Определение опытным путем потерь напора на преодоление местных сопротивлений и сравнение их с рассчитанными по инженерным формулам.

Задание: найти расчетные значения местных потерь напора, сравнить их с опытными и объяснить расхождения, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Местные потери напора (энергии) жидкости возникают на коротких участках трубопровода с препятствиями для потока, называемыми местными сопротивлениями (внезапное расширение и сужение труб, вентили, задвижки, клапаны, колена). В таких местах образуются циркуляционные зоны, на вращение жидкости в которых затрачивается часть механической энергии потока, называемая местными потерями напора. Величина местных потерь напора экспериментально определяется разностью полных напоров жидкости до и после местного сопротивления.

В инженерных расчетах для определения местных потерь напора используется формула $h_M = \zeta V^2 / (2g)$, где ζ – коэффициент местного сопротивления (выбирается по справочнику); V – средняя скорость потока за местным сопротивлением.

Порядок выполнения работы

1. Перенести из табл. 6.1 значения площадей сечений и скоростей в табл. 7.1.
2. Определить опытные значения местных потерь h_M (h_{BC} , h_P) из графика (см. рис. 6.2).
3. Найти расчетные значения местных потерь, сравнить их с опытными и объяснить расхождения.

Таблица 7.1

№ п/п	Наименования величин	Обозначения, формулы	Вид сопротивления			
			сужение		расширение	
			1(II)	2(III)	1(IV)	2(V)
1	2	3	4	5	6	7
1.	Площадь сечений, см ²	ω				
2.	Средние скорости за сопротивление м, см/с	V_2				
3.	Опытные значения местных потерь, см	$h_M(h_{BC}, h_P)$			-----	
4.	Коэффициенты местных сопротивлений	$\zeta_{BC} = 0.5(1 - \omega_2/\omega_1)$ $\zeta_{BP} = (\omega_2/\omega_1 - 1)^2$	-----			
5.	Расчетные значения местных потерь, см	$h_M = \zeta V_2^2 / (2g)$				

Примечание: ζ_{BC} , ζ_{BP} – коэффициенты для внезапных сужения и расширения.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Местные потери напора.

Лабораторная работа № 8

Определение потерь напора по длине

Цель работы: Освоение экспериментального и расчетного способов определения потерь напора на трение по длине.

Задание: объяснить расхождение опытного и расчетного значений потерь напора на трение по длине, подготовить протоколы отчетов.

Порядок выполнения:

Общие сведения

Потери напора по длине вызваны тормозящим действием стенок, приводящим к вязкостному трению частиц и струек жидкости друг о друга вдоль трубопровода. Они определяются по формуле:

$$h_{\delta} = \lambda(l/d)V^2/(2g),$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l , d – соответственно длина и внутренний диаметр трубы (канала); V – средняя скорость. В опытах потери напора по длине определяются разностью показаний пьезометров, установленных на концах опытного участка канала, т.к. скоростной напор не изменяется по пути.

Порядок выполнения работы

1. При заполненном водой баке 1 поставить устройство № 4 на стол баком 2 (рис. 6.1).
2. Снять показания пьезометров I-V, измерить время t изменения уровня в баке на произвольно заданную величину S и температуру T в помещении.
3. Построить по показаниям пьезометров пьезометрическую линию. На этой линии выделить участок с постоянным уклоном (обычно участок III-V), соответствующий равномерному течению. Определить его длину l и *опытное* значение потерь h_{δ} по показаниям крайних пьезометров на нем (рис. 6.1).
4. Найти число Рейнольдса и *расчетное* значение потерь напора h_{δ}^* по порядку, указанному в табл. 8.1, и относительное расхождение опытного и расчетного значений потерь напора. Объяснить это расхождение.

Таблица 8.1

№ п/п	Наименование величин	Обозначение, формулы	Значения величин
1.	Показания пьезометров, см	$P_1/(\rho g), \dots, P_5/(\rho g)$	
2.	Длина участка с равномерным движением, см	l	
3.	Опытное значение потерь напора по длине, см	$h_{\delta} = P_3/(\rho g) - P_5/(\rho g)$	
4.	Кинематический коэффициент вязкости воды, см ² /с	$\nu = 17.9/(1000 + 34T + 0.22T^2)$	
5.	Число Рейнольдса	$Re = Vd/\nu$	
6.	Коэффициент трения при $Re < 2300$ $2300 < Re < 10d/\Delta$ $Re > 10d/\Delta$	$\lambda = 64/Re$ $\lambda = 0.316/Re^{0.25}$ $\lambda = 0.11(68/Re + \Delta/d)^{0.25}$	
7.	Расчетное значение потерь напора по	$h_{\delta}^* = \lambda(l/d)V^2/(2g)$	

8.	длине, см Относительное расхождение опытного и расчетного значений потерь	$\delta_h = (h_\delta - h^*_\delta) / h_\delta$	
----	--	---	--

$d = \dots \text{см}; \omega = \dots \text{см}^2; A = \dots \text{см}; B = \dots \text{см}; T = \dots \text{°C}; S = \dots \text{см}; t = \dots \text{с}; Q = ABS/t = \dots \text{см}^3/\text{с}; V = Q/\omega = \dots \text{см}/\text{с}.$
Примечание. Абсолютную шероховатость стенок канала принять равной $\Delta = 0.001 \text{ мм}.$

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Потери напора по длине.

Лабораторная работа № 9

Сопротивление течению жидкости. Гидравлические характеристики.

Цель работы: Научиться определять режим течения жидкости в трубопроводе и практически снимать гидравлические характеристики - потери давления по длине трубы и на местных сопротивлениях (гидроаппаратах) в зависимости от расхода жидкости.

Задание: Опытным путем определить:

потери давления в трубопроводе в зависимости от величины расхода, диаметра и длины трубы;

снять гидравлическую характеристику дросселя для оценки суммарного сопротивления магистрали в случае его установки в трубопровод;

Порядок выполнения:

Предложено механизировать подачу заготовок к сверлильному станку посредством гидравлического цилиндра одностороннего действия. Расстояние от действующей насосной станции до места установки гидроцилиндра - 2,3 метра. Трубопровод, ведущий к нему, имеет диаметр $d_y = 3 \text{ мм}.$

Для регулирования скорости движения штока планируется установить в трубопроводе дроссель.

Задание.

Опытным путем определить:

потери давления в трубопроводе в зависимости от величины расхода, диаметра и длины трубы;

снять гидравлическую характеристику дросселя для оценки суммарного сопротивления магистрали в случае его установки в трубопровод;

С этой целью:

предложить гидравлическую принципиальную схему для проливки (отдельно и вместе) трубопровода и дросселя, провести измерения согласно табл. 1

построить гидравлические характеристики (график зависимости $\Delta p - Q$) трубопровода и дросселя.

Сделать выводы относительно режима течения жидкости в трубе и суммарных потерь давления на дросселе и в трубопроводе.

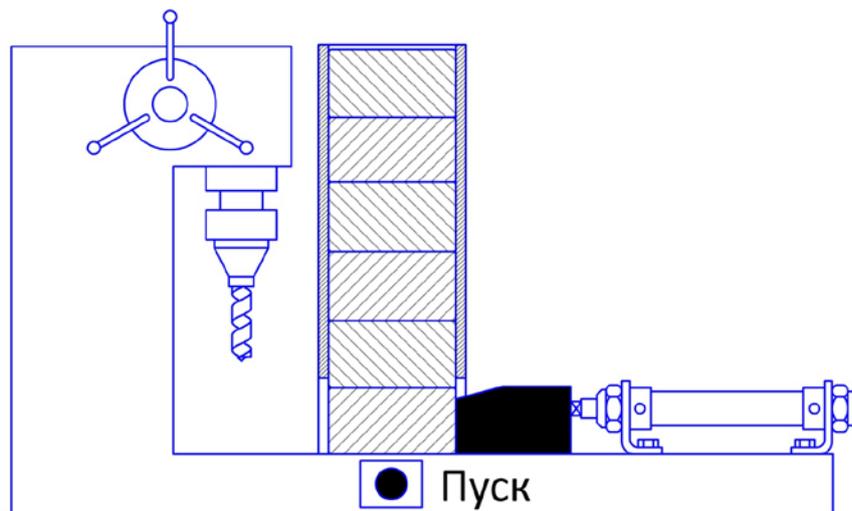


Рис.9.1. - Сверлильный станок с механизированной подачей заготовок на рабочую позицию.

Таблица 9.1.

P_2 , бар	5	10	15	20	25	30	35	40
V , л (за 20 с)								
Q , л/мин								
P_3 , бар								
$\Delta p = P_2 - P_3$, бар								

Решение:

Схема проливки трубопроводов и дросселя набирается аппликационными моделями на аудиторной доске.

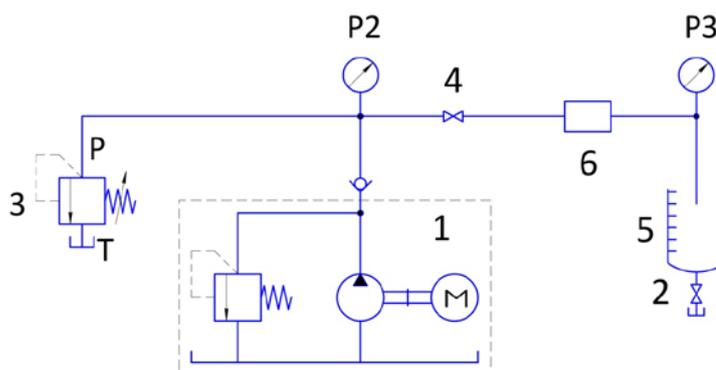


Рис.9.2. - Гидравлическая принципиальная схема проливки трубопроводов и гидроаппаратов

Подлежащие проливке трубопровод и дроссель обозначены на схеме соответственно поз.6 и поз.4 и устанавливаются в гидросхему сначала поочередно, а затем последовательно. В каждом случае учащимся рекомендуется зарисовать схему в тетрадь, как и таблицу ее проливки.

Трубопровод.

Сначала на стенде-тренажере собирается схема для проливки трубопровода диаметром 3 мм (поз. 6).

После сборки и проверки гидравлической системы следует уменьшить до минимума поджатие регулировочной пружины переливного клапана 3 (т.е. клапан 3 полностью открыть). Открывают также сливной кран 2 мерной емкости 5.

Затем включают гидростанцию и поворачивают регулировочный винт переливного клапана (т.е. перекрывая его) до тех пор, пока показание манометра P_2 не станет равным первому значению в таблице 1 (5 бар).

Далее одновременно закрывают кран 2 и включают секундомер. При этом фиксируются величины давлений по манометрам P_2 и P_3 .

Через 20 с гидростанцию выключают. Замеряется количество жидкости V (л), собравшейся в мерном бачке 5 за 20 с. После этого открывают сливной кран 2 мерной емкости 5 для слива жидкости из мерного бачка.

Все измеренные параметры записывают. Опыт повторяют 3 раза.

Расход (в л/мин) определяется умножением замеренного объема на 3, т.к.

$$Q = \frac{V(\text{л})60(\text{с})}{t(\text{с})} = \frac{60V}{20} = 3V(\text{л}).$$

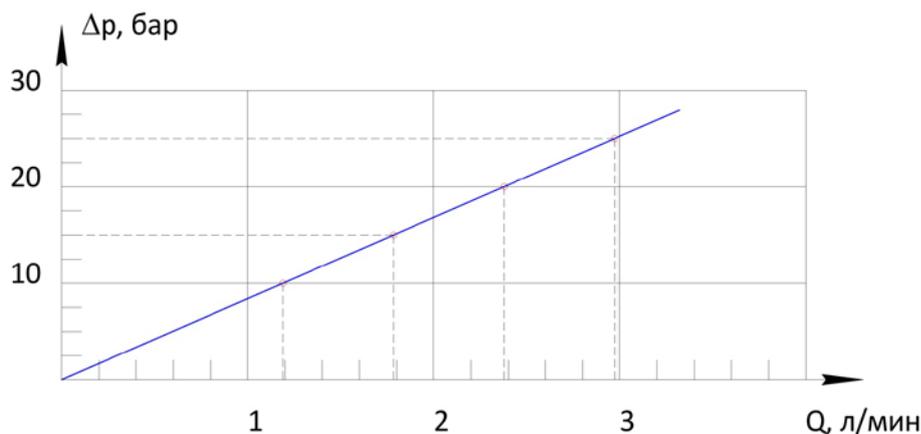
Среднее значение расхода Q , P_2 и P_3 заносится в таблицу 1.

Затем регулировочным винтом переливного клапана (3) повышают давление P_2 до следующего значения в таблице 1 и повторяют опыт.

Таблица 9.2

P_2 , бар	5	10	15	20	25	30	35
V , л (за 20 с)	0,22	0,42	0,63	0,78	0,95	1,05	1,2
Q , л/мин	0,66	1,26	1,89	2,34	2,85	3,15	3,6
P_3 , бар	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta p = P_2 - P_3$, бар	5	10	15	20	25	30	35

После заполнения таблицы строится график зависимости $\Delta p - Q$ для испытуемого трубопровода:



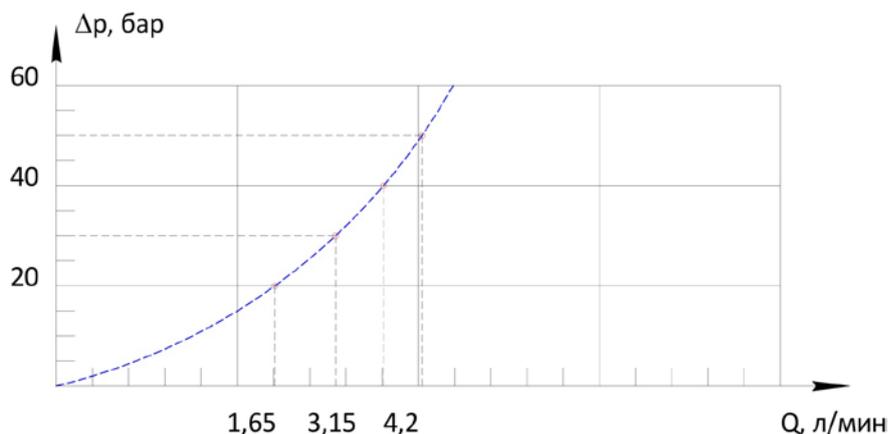
Выводы:

Из результатов исследования видно, что гидравлическое сопротивление, выраженное через падение давления Δp , повышается с увеличением расхода через трубопровод. Линейная зависимость падения давления от расхода означает, что течение в трубопроводе носит ламинарный характер.

Дроссель:

В аналогичной последовательности - от монтажа схемы до построения графика - проводится работа с дросселем, установленным в схеме вместо испытуемого трубопровода. Причем предварительно регулировочный винт дросселя устанавливается, например, так, чтобы при $P_2 = 25$ бар расход составлял 2 л/мин и в этом положении фиксируется.

P_2 , бар	20	30	40	50
V , л (за 20 с)	0,45	0,95	1,0	1,2
Q , л/мин	1,35	2,95	3,0	3,6
P_3 , бар	0	0	0	0
$\Delta p = P_2 - P_3$, бар	20	30	40	50



Выводы:

Гидравлическое сопротивление, выраженное через падение давления Δp , повышается с увеличением расхода через дроссель. Зависимость падения давления от расхода в данном случае носит квадратичный характер, что характерно для потерь давления на местном сопротивлении.

Суммарное гидравлическое сопротивление трубопровода и дросселя для случая их последовательного соединения легко установить по их гидравлическим характеристикам.

Так, например, для расхода в **2 л/мин** суммарное падение давления будет складываться из падения давления в трубопроводе (по характеристике $\Delta p_{тр} = 35$ бар) и падения давления на дросселе (по характеристике $\Delta p_{др} = 25$ бар).

Таким образом, при последовательном соединении гидроаппаратов их гидравлические сопротивления складываются.

Потери давления эквивалентны потерям мощности. Поэтому особенно важно правильно выбирать диаметры труб, а значит и проходных сечений (d_j) гидроаппаратов. В качестве основного критерия при выборе размеров поперечного сечения трубы используется скорость движения в ней рабочей жидкости. Однозначная связь этих параметров выражена в числе Рейнольдса R_e

$$R_{e\text{кр}} = v \cdot d/v,$$

по которому судят о режиме течения и потерях в трубопроводе.

Напомним физический смысл числа R_e – число R_e показывает, во сколько раз силы «возмущающие» поток превосходят силы «демпфирующие» его.

В случае, если число R_e для гладкой круглой трубы имеет значение меньше, чем **2300**, то поток в трубе носит ламинарный характер и потери гидравлической мощности пропорциональны v - первой степени скорости жидкости в трубе.

А если число R_e больше **2300**, то потери гидравлической мощности значительно больше и пропорциональны v^2 - квадрату скорости жидкости!

Вязкость рабочей жидкости также вносит свои коррективы, изменяясь в зависимости от давления в гидросистеме - с ростом давления вязкость увеличивается.

Накопленный практический опыт позволяет сформулировать рекомендации по выбору предельных значений скоростей течения рабочей жидкости в трубопроводах гидроприводов с точки зрения минимальных потерь давления (мощности).

ДАВЛЕНИЕ В ГИДРОЛИНИЯХ	СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ
до 50 бар	до 4,0 м/с
до 100 бар	до 4,5 м/с
до 150 бар	до 5,0 м/с
до 200 бар	до 5,5 м/с
до 300 бар	до 6,0 м/с
Линии всасывания	до 1,5 м/с
Сливные линии	до 2,0 м/с

*) Справка

Если скорости много меньше - значит завышены d_y (привод имеет лишние массу и габариты);

Если скорости больше - лишние потери мощности (затраты на электроэнергию и отвод тепла).

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как определить режим течения жидкости в трубопроводе?

Лабораторная работа № 10

Объемный насос. Напорный (переливной) клапан

Цель работы: Познакомиться с конструкцией и условиями работы объемного насоса и напорного клапана в гидросистеме.

Задание: Научиться практически снимать гидравлические характеристики объемного насоса и напорного клапана, а также понимать особенности их совместной работы.

Порядок выполнения:

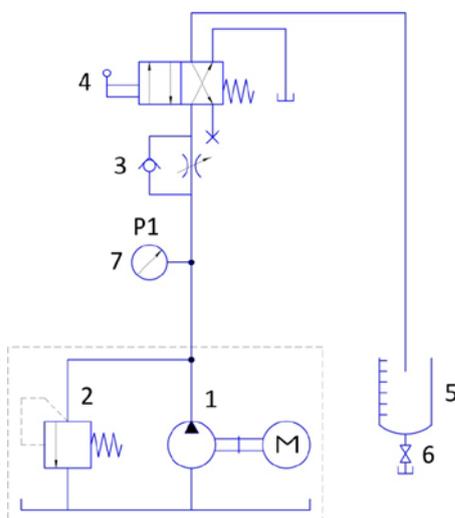


Рис.10.1 - Гидравлическая принципиальная схема проливки нерегулируемого объемного насоса:

На стенде-тренажере собирается схема для проливки объемного насоса. Проливке подлежит насос (1), расположенный внутри гидроагрегата. Предохранительный клапан (2) насоса настроен на давление 60 бар. Распределитель (4) служит для переключения потока масла на мерную емкость (5) для измерения расхода. Давление на выходе насоса P_1 устанавливается нагрузочным дросселем (3) и контролируется по манометру (7).

Перед включением гидростанции следует полностью открыть нагрузочный дроссель (3) и сливной кран (6) мерной емкости. Заданные в таблице 1 значения давления

устанавливают путем медленного закрытия дросселя (3), контролируя давление с помощью манометра (7).

Для измерения объемного расхода закрывают сливной кран (6) мерной емкости и включают гидростанцию. Распределитель (4) переключают на 20 с, направляя поток в мерную емкость. Затем регистрируют уровень масла, установившийся в мерной емкости. Расход Q (в л/мин) определяется умножением измеренного объема на 3.

Опыт повторяется 3 раза. Среднее значение расхода заносится в таблицу 1.

Затем регулировочным винтом нагрузочного дросселя (3) повышают давление P_1 до следующего значения в таблице 1 и повторяют опыт.

После заполнения таблицы 1 строится гидравлическая характеристика насоса в координатах $Q - \Delta p$ ($\Delta p = P_1 - P_{\text{слива}} = P_1$, т.к. давление слива $P_{\text{слива}} = 0$).

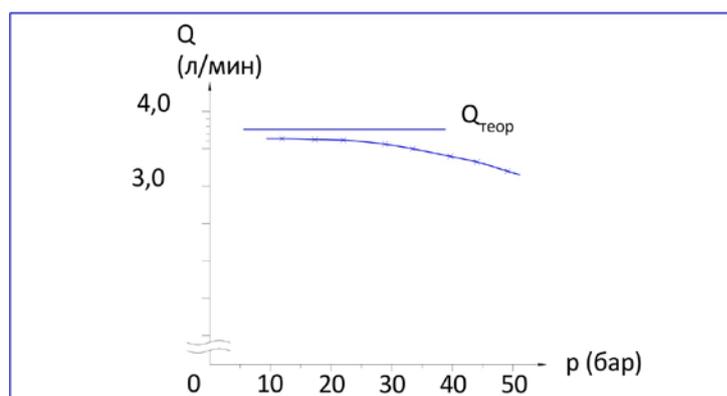
Характеристика объемного насоса.

Таблица 10.1.

Давление P_2	20	30	40	45	50	бар
V (за 20 с)	1,20	1,15	1,08	1,05	1,0	л
Q	3,6	3,45	3,24	3,15	3,0	л/мин

Для насосов, установленных в гидроагрегате стенда, $V_{\text{раб}} = 2,5 \text{ см}^3$, тогда

$$Q_{\text{теор}} = V_{\text{раб}} \cdot n = 2,5 \text{ см}^3/\text{об} \cdot 1490 \text{ об/мин} = 3,72 \text{ л/мин}$$



Выводы:

Теоретически характеристика насоса должна иметь вид прямой. Однако на практике при увеличении давления на выходе подача насоса уменьшается из-за внутренних утечек, которые при повышении давления увеличиваются.

Внутренние утечки могут достигать значительной величины у старых насосов, где детали изношены и зазоры увеличены.

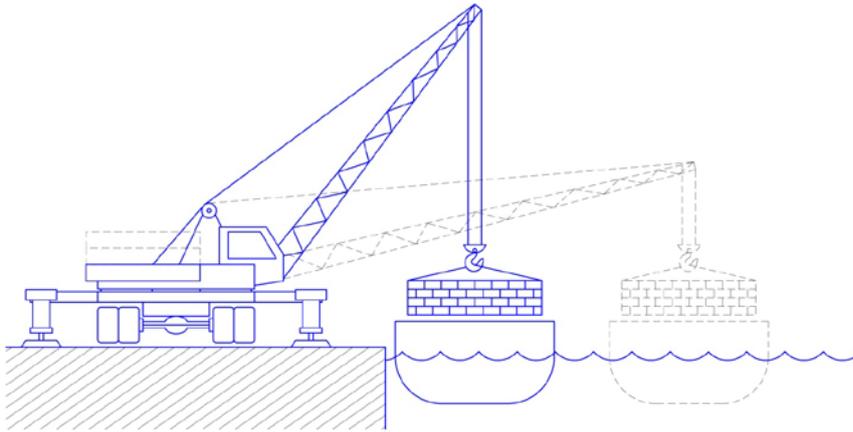
Таким образом, существенное снижение скорости вращения валков могло произойти в результате износа насоса и, как следствие, существенных внутренних утечек.

Отношение измеренного значения подачи насоса к теоретической подаче насоса представляет собой объемный коэффициент полезного действия (КПД) насоса.

$$\eta = Q/Q_{\text{теор}}$$

Ориентировочно объемный КПД исправных насосов лежит в пределах **0,8 – 0,9**.

С целью обеспечения возможности погрузки с причала сразу двух барж необходимо увеличить противовес автокрана. Однако это требует увеличения давления в гидросистеме, которая вывешивает и горизонтирует автокран. Чтобы знать требуемую для этого величину давления, нужно иметь гидравлическую характеристику клапана.



Задание:

Предложить гидравлическую принципиальную схему для проливки напорного клапана.

Провести измерения согласно табл. 1 и 2.

Определить давление открытия напорного клапана.

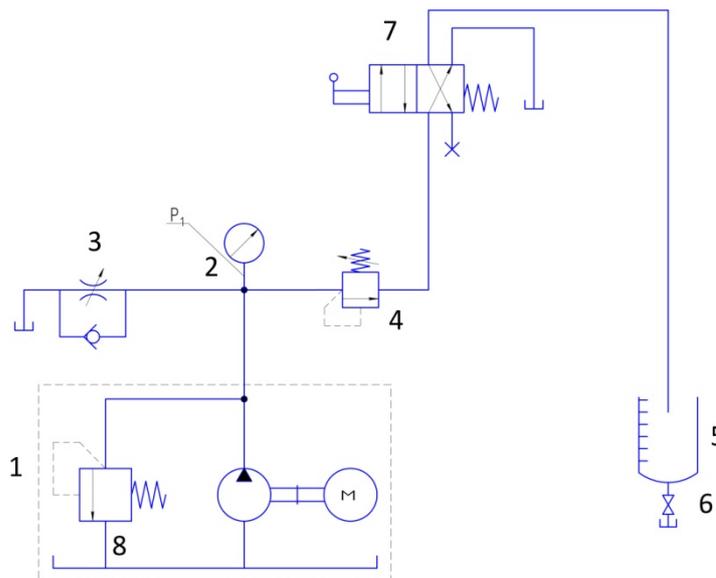
Построить гидравлические характеристики (график зависимости $\Delta p - Q$) напорного клапана.

Рассмотреть совместную работу насоса и напорного (переливного) клапана.

Определить порядок настройки давления при вывешивании автокрана после установки дополнительного противовеса.

Характеристика напорного клапана.

Схема проливки объемного насоса набирается на аудиторной доске с помощью аппликационных моделей.



*) Справка.

Как правило, в гидросхемах присутствуют минимум два напорных клапана. На примере приведенной схемы это:

предохранительный (8) - установлен на гидроагрегате - предохраняет насос от разрушения при забросах давления (включается в работу очень редко),

переливной (4) - задает рабочий уровень давления в гидросистеме (постоянно в работе).

Конструктивно клапаны могут быть выполнены одинаково, отличаются только уровнем настройки давления срабатывания (у предохранительного - выше).

На стенде-тренажере собирается схема для проливки напорного (переливного) клапана (4).

Предохранительный клапан (8) насоса настроен на давление 60 бар. Распределитель (7) служит для переключения потока масла на мерную емкость (5) для измерения расхода. Давление на выходе насоса P_1 устанавливается нагрузочным дросселем (3) и контролируется по манометру (2).

Дроссель (3) имитирует нагрузку, возникающую в реальном гидроприводе. После сборки и проверки гидравлической системы пружина переливного (испытываемого) клапана (4) посредством регулировочного винта отпускается до минимума. Дроссель (3) закрывается. Затем включают гидростанцию и регулировочным винтом переливного клапана устанавливают давление P_1 по манометру (2) равным 40 бар. В этом случае вся подача насоса проходит через переливной клапан на слив. Это очень важно подчеркнуть, т.к. именно такой режим работы напорного клапана отражает понятие «клапан настроен на давление 40 бар».

Для измерения объемного расхода закрывают сливной кран (6) мерной емкости. Распределитель (7) переключают на 20 с, направляя поток в мерную емкость. Затем регистрируют уровень масла, установившийся в мерной емкости. Расход Q (в л/мин) определяется умножением замеренного объема V на 3.

Опыт повторяется 3 раза. Среднее значение расхода Q заносится в таблицу 1 (см. ниже).

Далее дроссель (3) полностью открывают. Заданные в таблице 1 значения давления P_1 устанавливают путем постепенного закрытия дросселя, измеряя каждый раз соответствующие значения объемного расхода. В ходе экспериментов необходимо возможно более точно установить значение давления, при котором клапан начнет открываться. Это легко сделать, если наблюдать за моментом начала течения в мерную емкость при плавном повышении давления P_1 .

Таблица 10.2.

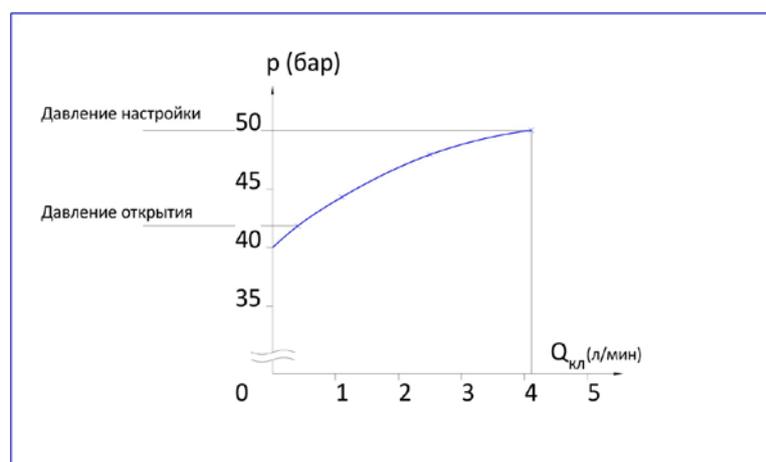
Давление P_1 (40)	25	30	33,5	35	37,5	40	бар
V (за 20 с)	0	0	0,5	0,87	1,0	1,3	л
Q	0	0	1,5	2,61	3,0	3,9	л/мин

Повторить эксперимент, настроив предварительно переливной клапан на давление $P_1 = 50$ бар и аналогично заполнив таблицу 2.

Таблица 10.3.

Давление P_1 (40)	35	40	42,5	45	47,5	50	бар
V (за 20 с)	0	0,06	0,23	0,38	0,6	1,32	л
Q	0	0,18	0,69	1,14	1,8	3,96	л/мин

По данным таблиц 1 и 2 строятся гидравлические характеристики клапана.



Выводы:

Каждый напорный клапан (и предохранительный, и переливной) имеет определенное давление открытия (обусловленное силой предварительного сжатия регулировочной

пружины), при котором через него начинается перетекание жидкости. Дальнейшее повышение давления в гидросистеме приводит к тому, что подача жидкости от насоса делится на два потока, один из которых уходит в систему, а другой через переливной (предохранительный) клапан на слив. При достижении давления настройки вся жидкость, подаваемая насосом, проходит через напорный клапан. В этом случае движения жидкости в гидросистеме нет, а давление - максимально!

Таким образом, настройка именно переливного клапана определяет максимальный уровень давления в гидросистеме.

В задаче с автокраном давление в гидросистеме должно быть повышено путем поджатия регулировочной пружины переливного клапана, причем величина давления должна быть такой, чтобы усилия, развиваемые цилиндрами, были достаточны для вывешивания автокрана с грузом. Иначе, если вывесить только автокран с противовесом, при подъеме груза давление в гидроцилиндрах увеличится, переливной клапан, настроенный только на давление от веса крана, откроется и гидравлическая жидкость будет уходить на слив. Гидроцилиндры «просядут», что может привести к аварии - опрокидыванию крана!

Характеристика переливного клапана после регулировки сместится параллельно самой себе в зону повышенного давления.

Таким образом, основной особенностью совместной работы в гидросистеме объемного нерегулируемого насоса и напорного переливного клапана является периодическое деление подачи насоса между гидросистемой (потребитель) и сливом через переливной клапан.

Наглядное представление об этом можно получить, наложив характеристику переливного клапана на характеристику объемного насоса.

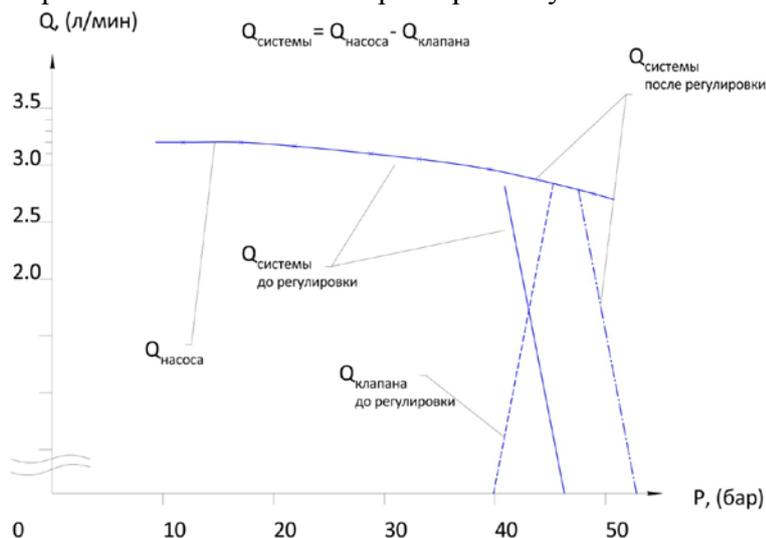


Рис. 10.2.- Гидравлическая характеристика гидроагрегата стенда-тренажера.

*) Примечание.

Выбор давления настройки переливного клапана, которым устанавливается максимальное давление во время лабораторной работы, должен быть как минимум на **10** бар меньше настройки предохранительного клапана, установленного на гидроагрегате и настроенного на **60** бар, иначе неизбежны ошибки при определении величины расхода в гидросистеме, т.к. часть расхода будет уходить не только через переливной, но и через предохранительный клапан.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как определить гидравлические характеристики объемного насоса?

Лабораторная работа № 11

Управление усилием на исполнительном механизме

Цель работы: Ознакомление с основными способами управления усилием на выходном звене исполнительных механизмов.

Задание: Изучение особенностей использования в гидросистемах клапанов давления: напорного и редуционного.

Порядок выполнения:

В долбежном станке зажим заготовок в тисках и подача инструмента осуществляются посредством гидроцилиндров соответственно *A* и *B*. Гидросистема станка содержит одну насосную установку. Однако усилия, развиваемые зажимным гидроцилиндром, должны иметь возможность настройки в соответствии с конструкцией обрабатываемой детали. Кроме того, должна регулироваться и скорость зажима.

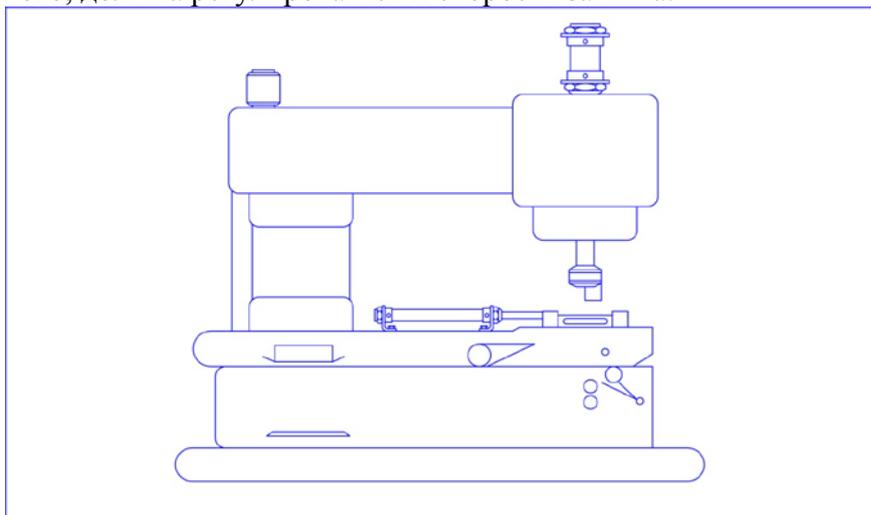


Рис.11.1 – Долбежный станок

Задание:

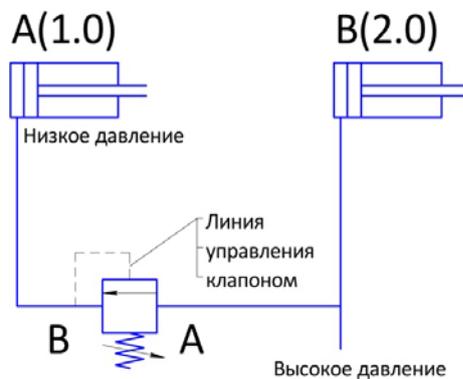
Необходимо разработать гидравлическую принципиальную схему приводов инструмента и зажимного приспособления.

Смоделировать систему на тренажере.

Провести измерения давлений. Значения измеряемых величин следует внести в заготовленные таблицы и на основании полученных результатов сформулировать выводы.

Поскольку в гидросистеме предполагается одновременно два уровня давления - высокий для привода долбежного инструмента и низкий для зажимного приспособления, то низкого уровня обычно достигают применением редуционного клапана. Именно редуционные клапаны, понижая давление, подаваемое на их вход, являются границей между двумя уровнями давления в гидросистеме. Очень важно, что колебания давления на входе в редуционный клапан никак не сказываются на давлении на выходе из него.

Таким образом, в общем виде гидросхема с использованием редуционного клапана будет выглядеть так:



Напомним, что редукционный клапан является нормально открытым клапаном (т.е. в нерабочем положении, «на складе», его залорно-регулирующий элемент отжат пружиной в открытое положение) и следит за настроенным давлением «после себя».

Редукционные клапаны бывают как двухлинейными, так и трехлинейными. В гидравлических приводах используют в основном только трехлинейные клапаны, имеющие дополнительное свойство предохранительного клапана относительно настроенного редуцированного давления.

Для решения поставленной задачи может быть предложена следующая принципиальная гидравлическая схема долбежного станка:

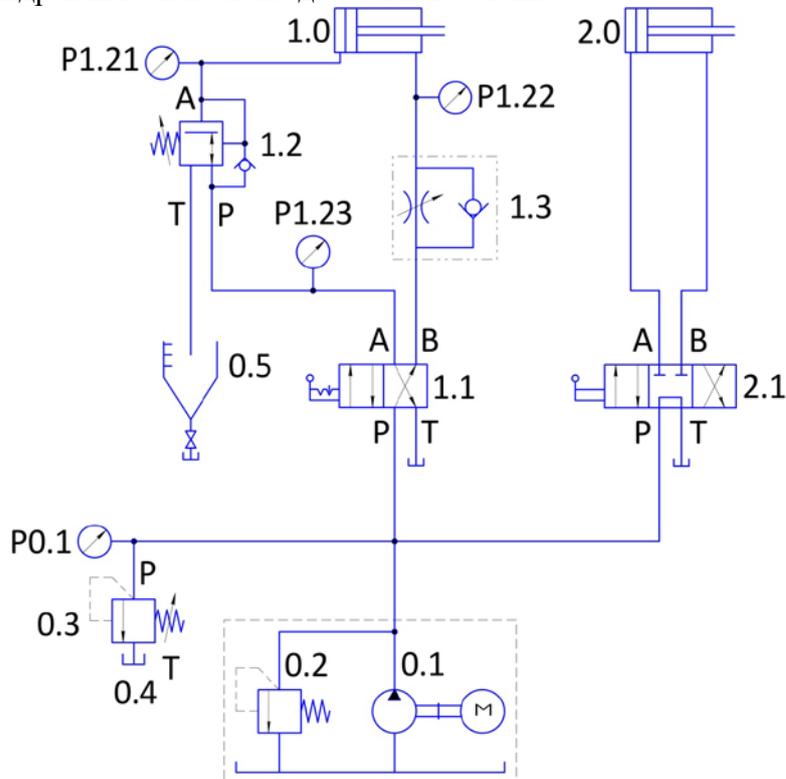


Рис.11.2. - Гидравлическая принципиальная схема долбежного станка.

Предложить слушателям собрать схему на доске и самостоятельно объяснить порядок ее работы. Обратите внимание, что гидроцилиндр **1.0** служит для зажима детали, поэтому для управления им применен распределитель **4/2**, т.к. промежуточных положений гидроцилиндра не требуется. И понижающий давление редукционный клапан **1.2** встроен в поршневую линию именно этого гидроцилиндра. Отметить назначение обратного клапана, встроенного в редукционный. В качестве распределителя **2.1** для гидроцилиндра **2.0** сверильной головки используется распределитель **4/3** с линией **P** перекрытой в среднем положении. Только при этом условии возможен надежный зажим детали.

Обратите внимание, что при проведении лабораторной работы на стенде-тренажере собирается схема целиком, а замеры проводятся исключительно на цепи управления гидроцилиндром **1.0**, поскольку объектом исследования является только редукционный клапан **1.2**, а именно - изменения давления до и после него.

Порядок настройки аппаратов при проведении опытов следующий.

Включают гидростанцию и переключают распределитель **1.1**. После достижения штоком гидроцилиндра **1.0** переднего конечного положения редукционный клапан (**1.2**) настраивают так, чтобы манометр (**P1.21**) показывал **15** бар. При этом давление **P0.1** должно составлять **50** бар. Далее выполняют первый и второй опыты.

Для третьего и четвертого опытов дроссель с обратным клапаном (**1.3**), используемый как элемент подпора, регулируют так, чтобы при прямом ходе штока манометр (**P1.22**) показывал **20** бар.

Для пятого опыта отсоединяют линию питания **P**, ведущую к редукционному клапану **1.2**, и наблюдают за течением в канале **T** редукционного клапана через стекло мерного бака.

Обозначения к таблицам:

1. Дроссель (**1.3**) полностью открыт (давление при движении вперед)
2. Дроссель (**1.3**) полностью открыт (поршень в конечном положении)
3. Дроссель (**1.3**) отрегулирован так, что при выдвигении **P1.22 = 20 бар**
4. Поршень в конечном положении
5. Линия **P** редукционного клапана отсоединена.

P1.21	1	2	3	4	5
Выдвижение	5	15	10	15	12
Втягивание	21	0	15	0	15

P1.22	1	2	3	4	5
Выдвижение	5	0	12	0	12
Втягивание	40	40	40	40	40

P1.23	1	2	3	4	5
Выдвижение	12	40	40	40	12
Втягивание	5	0	5	0	0

При выполнении первого опыта значения давления измеряют во время движения; настройка давления на входе (измеряемого как **P0.1**) должна производиться таким образом, чтобы давление **P1.21** составляло **15** бар, причем только тогда, когда поршень достигнет переднего конечного положения или остановится из-за сопротивления. Это отмечено в задании ко второму опыту - поршень в переднем конечном положении. Этот опыт показывает, что редукционный клапан поддерживает давление в **15** бар даже при отсутствии протока жидкости.

Обратный клапан, встроенный в редукционный, используется для его обхода, обеспечивая быстрый обратный ход штоку гидроцилиндра **1.0**.

При наличии сопротивления выдвигению, как видно из третьего опыта, эффективное давление достигает только **12 – 15** бар несмотря на то, что давление настройки переливного клапана системы **0.3** составляет **50** бар. При закрытом дросселе (**1.3**) противодействие может повышаться лишь до тех пор, пока показание манометра (**P1.21**) не станет равным **15** бар; при этом поршень останавливается, а редукционный клапан закрывается.

При обратном ходе, как видно из пятого опыта, повышающееся давление в канале **A** влечет за собой открытие канала **T** редукционного клапана, соединенного с мерным баком **0.5**, в результате чего **P1.21** достигает только давление настройки **15** бар. Так поршень продолжает движение до заднего конечного положения. Когда же поршень достигает втянутого положения, первоначально сохраняется давление **15** бар, но из-за внутренних перетечек в редукционном клапане давление падает ниже **15** бар, что влечет за собой изменение соединения каналов клапана с **A** к **T** на **P** к **A**. А так как жидкость, подаваемая насосом, не поступает на вход **P** редукционного клапана, то давление падает до нуля.

Обратить внимание!

На практике вместо дросселя с обратным клапаном часто устанавливают предохранительный клапан с обратным клапаном. В результате предотвращается возникновение высоких значений противодействия при прямом ходе поршня (вследствие преобразования давления на поршне).

Однако, поскольку в нашем случае система запитывается редуцированным давлением, то и на сливе не может возникнуть чрезмерных давлений. Поэтому здесь применен дроссель с обратным клапаном. Кроме того, этот гидроаппарат значительно дешевле предохранительного клапана и потому зачастую применяют именно его.

Выводы:

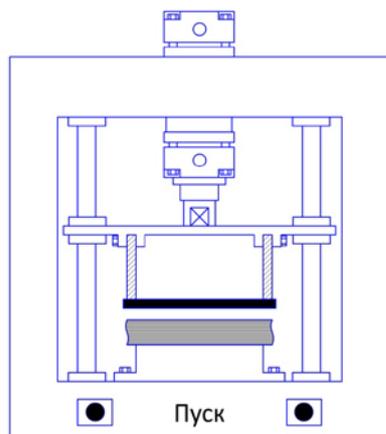
Редукционные клапаны применяют в тех случаях, когда наряду с основным уровнем давления в системе требуется дополнительный уровень давления с постоянным, но меньшим давлением.

В пятом опыте показано, что скачки давления или повышения давления сверх установленной величины в канале **A** редукционного клапана влекут за собой соединение этого канала внутри клапана с линией **T** сброса в бак.

Постановка задачи.

При проведении переплетных работ в типографии используется гидропресс. Рабочее давление прессования должно регулироваться в зависимости от материала обложки и клеящего вещества, причем давление должно поддерживаться постоянным в течение всего времени прессования (при включенном гидрораспределителе).

Переплетный пресс



Задание:

Разработать гидравлическую принципиальную схему пресса с давлением прессования **30** бар:

- с предохранительным клапаном;
- с трехлинейным редукционным клапаном.

В обеих схемах клапан давления устанавливается непосредственно перед цилиндром.

Управление должно осуществляться посредством **4/3**- распределителя.

Переливной клапан системы настроить на **50** бар. Смоделировать систему на тренажере

Дополнительные условия.

Сравнить показания манометра, установленного перед распределителем.

В чем принципиальное отличие схем?

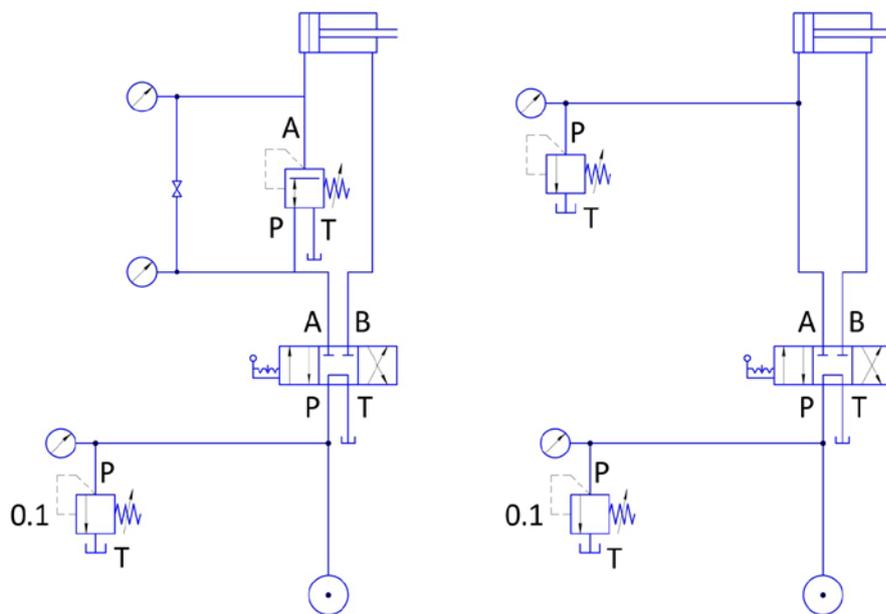


Рис.11.3.- Гидравлическая принципиальная схема.
Переплетный пресс.

При использовании для понижения давления редукционного клапана на входе последнего (при условии, что объемная подача насоса достаточна) поддерживается давление **50** бар, определяемое настройкой переливного клапана системы. В случае, если от этой же гидростанции производится питание других гидродвигателей, только у гидродвигателя, перед которым установлен редукционный клапан, поддерживается давление жидкости **30** бар. Рабочее давление у остальных двигателей определяется настройкой переливного клапана.

Таким образом, в гидросистеме имеется два разных уровня давления.

Если же используется установленный перед гидродвигателем параллельно линии питания напорный (предохранительный) клапан, настроенный на **30** бар, то давление во всей гидросистеме при включенном **4/3**- распределителе составляет именно **30** бар (а не **50** бар, на которые настроен переливной клапан).

Зато при включенном распределителе и продолжительных выдержках времени насосу необходимо создавать давление только **30** бар - экономия энергии.

Примечание.

Для того чтобы был возможен обратный ход поршня, в обвод редукционного клапана должен быть установлен обратный клапан.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Рассказать об основных способах управления усилием на выходном звене исполнительных механизмов.

Лабораторная работа № 12

Управление скоростью движения исполнительного механизма

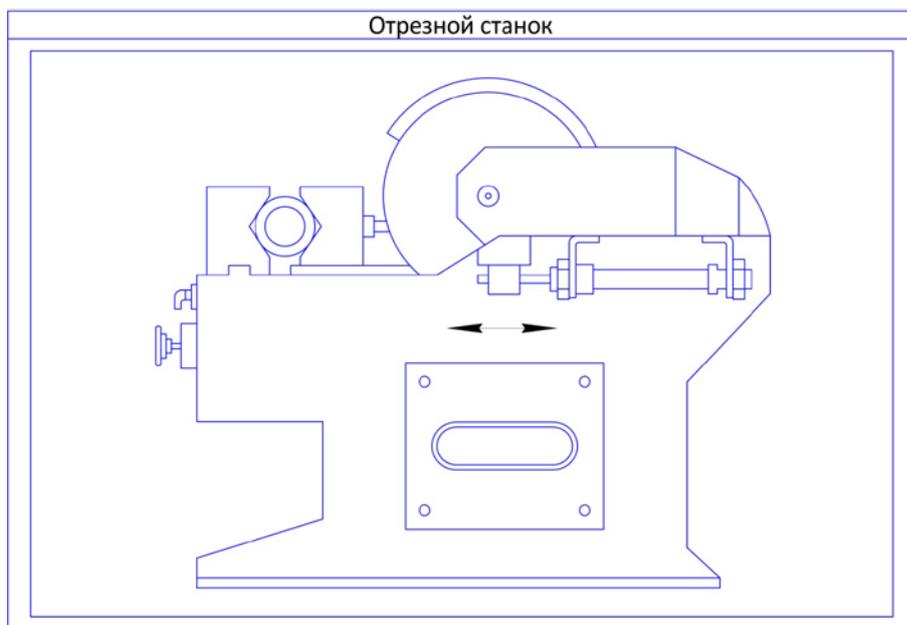
Цель работы: Ознакомление с работой гидроаппаратов, предназначенных для воздействия на расход рабочей жидкости (дроссель и регулятор расхода).

Задание: Изучение гидравлической характеристики регулятора расхода при переменном давлении на его входе и выходе. Сравнение характеристик гидропривода при использовании дресселя и регулятора расхода в схеме управления скоростью исполнительного механизма..

Порядок выполнения:

Подача дисковой пилы отрезного станка осуществляется посредством гидроцилиндра двустороннего действия. При разрезании круглой заготовки рабочее сопротивление нарастает от нуля до максимального значения и затем снова уменьшается до нуля.

Сравнить скоростные характеристики исполнительного механизма при использовании в гидросхеме дресселя и регулятора расхода для управления скоростью подачи инструмента.



Задание:

- А. Снять характеристику 2-х линейного регулятора расхода и сравнить качество его работы с дресселем.

Оценить целесообразность применения регулятора расхода в гидросхеме отрезного станка.

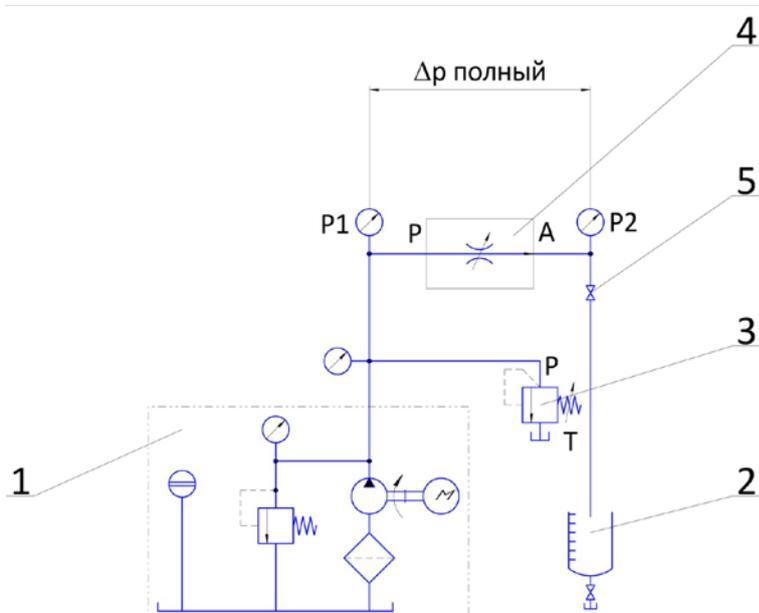
- Б. Предложить схему, в которой можно было бы обеспечить путем переключения распределителя либо равномерную подачу независимо от нагрузки на режущем инструменте, либо скорость подачи инструмента обратнопропорциональную нагрузке.

Дополнительные условия:

Практически определить скорость выдвигания штока гидроцилиндра при различных нагрузках для предложенной схемы.

- А. Снятие характеристики регулятора расхода.

- Собрать гидравлическую схему, приведенную на рисунке.



- Включить гидравлическую установку (1), закрыть регулируемый дроссель (5) и настроить переливной клапан (3) на **50 бар (5000 Па)**;
- Полностью открыть дроссель (5) и настроить регулятор расхода (4) на **2 л/мин**, набирая в мерную емкость (2) **0,5 л** за **15 с**. Данная операция является приближенной по указанным значениям параметров (т.е. это может быть значение $Q = 1,45; 1,78; 2,3$ и т. д.). Это важно с точки зрения попадания в рабочую зону характеристики регулятора расхода.
- Записать значение P_2 в таблицу 1.
- Изменяя настройку дросселя (5), устанавливать последовательно значения P_2 согласно таблице 1

Таблица 12.1. - Переменное давление на выходе (имитация переменной нагрузки).

P_1	P_2	$P_1 - P_2$	Объем за 15 с	Q , (л/мин)
50	0			2
50	10			
50	20			
50	30			
50	40			
50	45			
50	50			

* Не изменяя настройки регулятора расхода 4, последовательно устанавливать с помощью переливного клапана 3 значения p_r согласно таблице 2, поддерживая на выходе регулятора расхода давление **10 бар** дросселем 5.

Таблица 12.2. - Переменное давление на входе (имитация колебания давления в сети).

P_1	$P_1 - P_2$	P_2	Объем за 15 с	Q , (л/мин)
50		10		2
40		10		
30		10		
20		10		
10		10		

Построить характеристики $Q(P_2)$ и $Q(P_1)$ регулятора расхода.

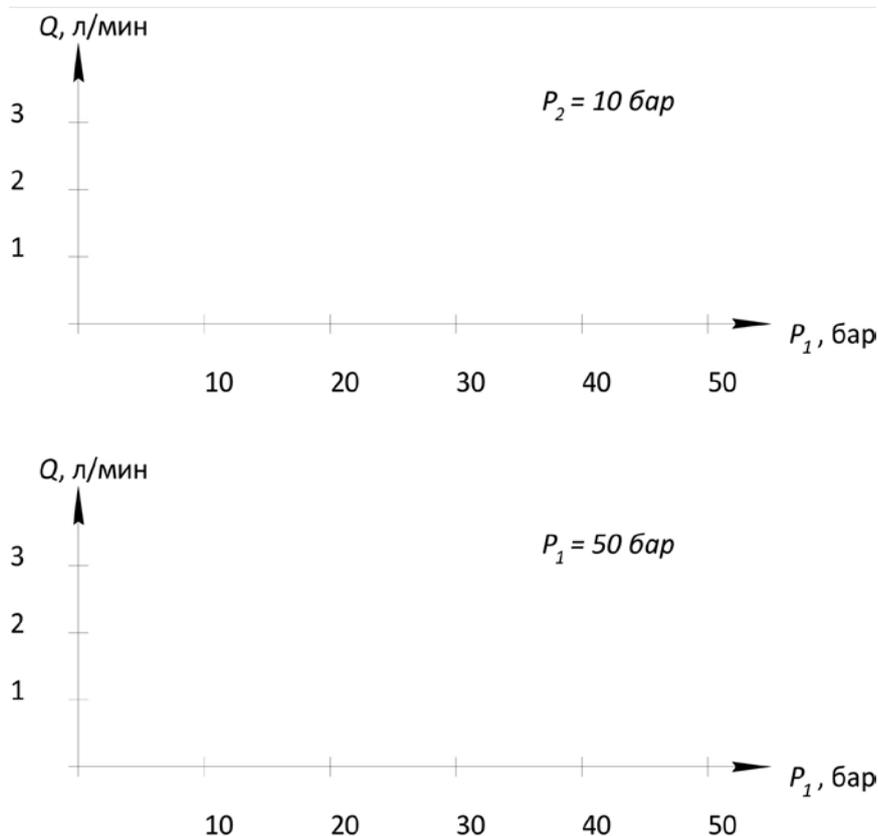


Рис. 12.1 - Характеристики двухлинейного регулятора расхода.

После оформления результатов работы повторить эксперимент, заменив регулятор расхода на регулируемый дроссель. Сравнить результаты и сделать вывод о целесообразности применения того или иного аппарата в отрезном станке.

Решение: После проливки регулятора расхода и заполнения таблиц получим:

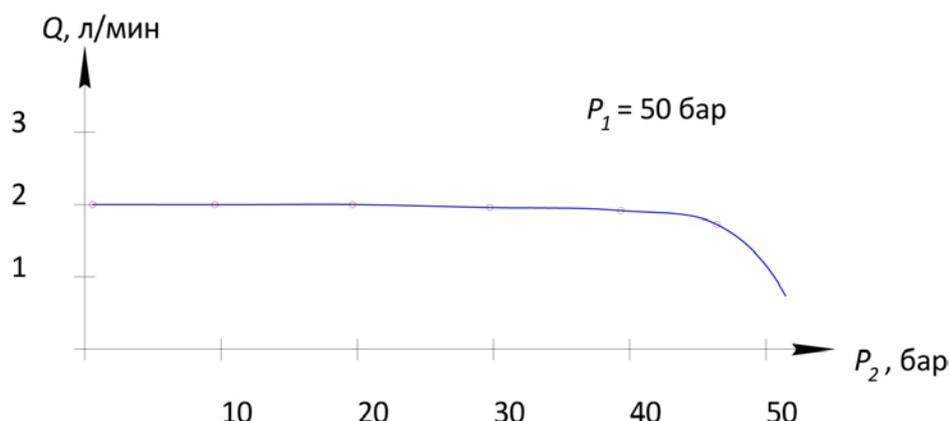
Таблица 12.3.- Переменное давление на выходе (имитация переменной нагрузки).

P_1	P_2	$P_1 - P_2$	Объем за 15 с	Q , (л/мин)
50	?	?	0,5	2,0
50	10	40	0,5	2,0
50	20	30	0,47	1,88
50	30	20	0,48	1,92
50	40	10	0,44	1,76
50	45	5	0,37	1,48
50	50	0	0	0

Таблица 12.4.- Переменное давление на входе.

P_1	$P_1 - P_2$	P_2	Объем за 15 с	Q , (л/мин)
50	40	10	0,5	2,0
40	30	10	0,5	2,0
30	20	10	0,48	1,92
20	10	10	0,45	1,80
10	0	10	0	0

Характеристики двухлинейного регулятора расхода.



Выводы:

Регулятор расхода поддерживает расход постоянным независимо от изменения давления, как перед ним, так и за ним.

Таким образом, для того чтобы скорость подачи дисковой пилы была обратно пропорциональна нагрузке, в гидросистеме должен быть установлен дроссель, т.к. регулятор расхода делает подачу инструмента независимой от нагрузки! Для равномерности хода на сливе целесообразно установить подпорный клапан.

Схема, которая позволяла бы обеспечить как зависимую от нагрузки подачу, так и равномерную подачу независимо от нагрузки на режущем инструменте, должна содержать в одном случае дроссель, а в другом - регулятор расхода. Этого можно добиться, установив их параллельно, а выбор того или иного гидроаппарата производить путем переключения распределителя, установленного на линии питания последовательно с основным распределителем. Такая схема представлена ниже.

Для практической проверки того, как реагирует гидросистема на установку дросселя или регулятора расхода при изменении нагрузки, собрать схему на стенде. Изменение нагрузки моделировать подпорным клапаном (как в предыдущем задании). Измерение времени хода производить после каждой настройки P_1 как для регулятора расхода, так и для дросселя, переключая 3/2- распределитель. Оба эти гидроаппарата предварительно должны быть отрегулированы таким образом, чтобы время прямого хода поршня без нагрузки составляло примерно 5 с.

Результаты измерений давлений и времени выдвижения штока заносятся в следующую таблицу.

$P_{пр}$, бар	P_1 , бар	Время выдержки t , с		$P_{пд}$, бар
		Рег. расхода	Дроссель	
46	10	5	5,5	46
	20			
	30			
	40			
	45			

Результаты измерений выглядят следующим образом.

$P_{пр}$, бар	P_1 , бар	Время выдержки t , с		$P_{пд}$, бар
		Рег. расхода	Дроссель	
46	10	5	5,5	46
46	20	5	6,5	47
46	30	5	7,6	48
47	40	5	9,7	49
48	45	6	12	49

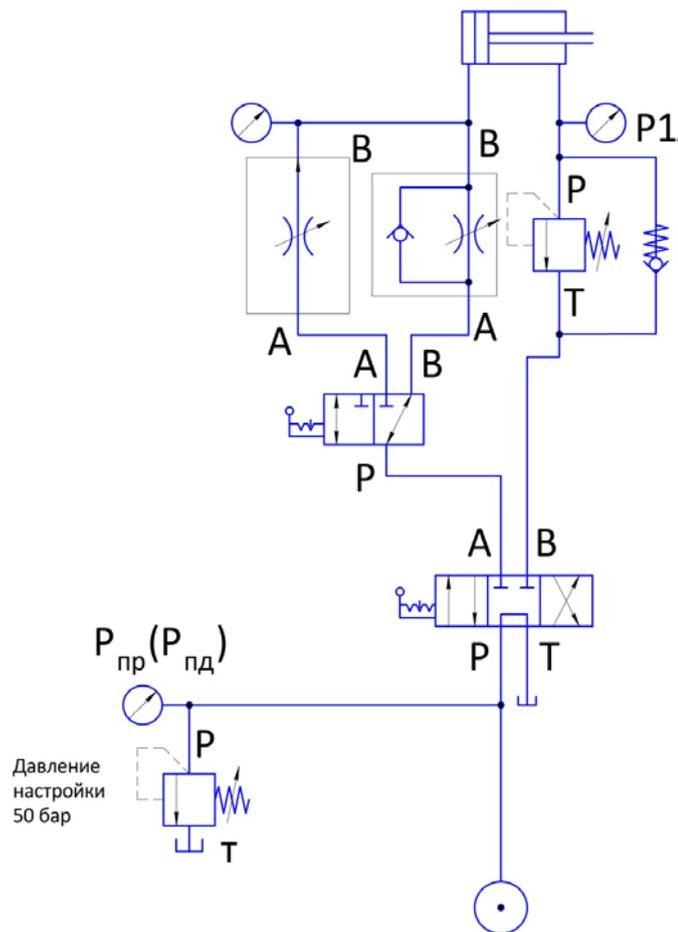


Рис.12.2. - Гидравлическая принципиальная схема.

По результатам измерений времени выдвигания штока видно, что двухлинейный регулятор расхода поддерживает постоянным время выдвигания практически при всех нагрузках. Только когда противодействие становится слишком сильным, перепад давления на регуляторе уменьшается настолько, что протекание через него неизменного расхода оказывается больше невозможным. Повышение давления перед регулятором расхода приводит к еще большему открытию переливного клапана и сбросу части жидкости, подаваемой насосом, на слив. Только теперь время прямого хода поршня увеличивается.

При использовании регулируемого дросселя время прямого хода гидроцилиндра увеличивается в соответствии с ростом противодействующего сопротивления. Поэтому для привода подачи отрезной пилы выбран дроссель.

*) Указания к схеме.

Перед разборкой схемы необходимо обратить внимание на то, чтобы показание манометра P_1 было нулевым. Для этого следует уменьшить до минимума усилие поджатия регулировочной пружины подпорного клапана и переключить 4/3-распределитель в позицию слива из напорной линии - разгрузить поршень цилиндра.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Сравнить характеристики гидропривода при использовании дросселя и регулятора расхода в схеме управления скоростью исполнительного механизма.

Лабораторная работа № 13

Прямое и не прямое управление пневмоцилиндрами

Цель работы: Изучение основных способов управления пневмоцилиндрами одностороннего и двухстороннего действия.

Задание: Изучение основных способов управления пневмоцилиндрами одностороннего и двухстороннего действия

Порядок выполнения:

Обеспечить подачу заготовок на рабочую позицию сверлильного станка из накопителя посредством пневмопривода. При нажатии на пневматическую кнопку «Пуск» шток цилиндра выдвигается и перемещает заготовку из накопителя в рабочую позицию.

После отпущания пусковой кнопки шток возвращается в исходную позицию.

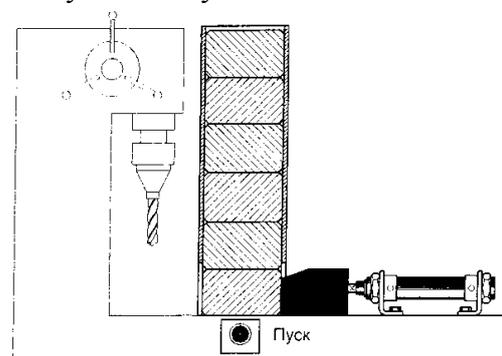
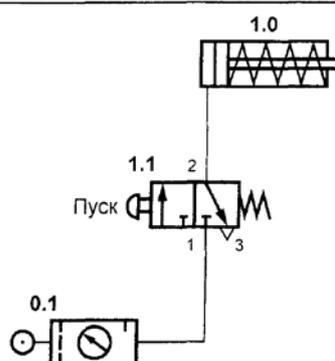


Рис.13.1. – Сверлильный станок с механизированной подачей заготовок на рабочую позицию

Использование пневмоцилиндра одностороннего действия.

Подача заготовок на рабочую позицию сверлильного станка.

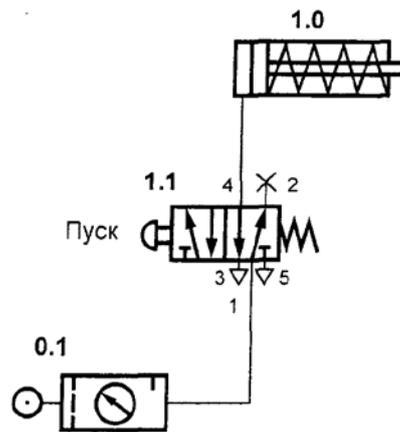
Подача заготовок на рабочую позицию сверлильного станка.



Поскольку замена 3/2 пневмораспределителя на 5/2

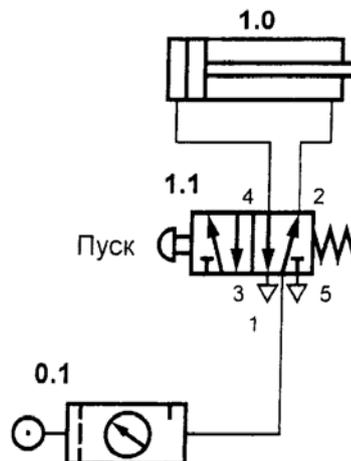
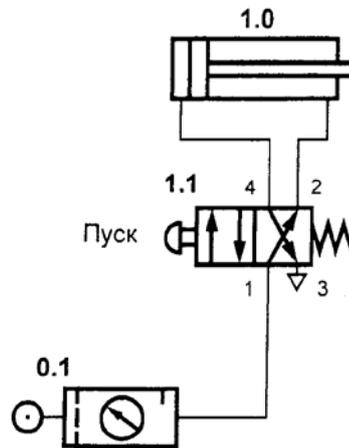
распределитель с одним заглушенным каналом потребителя часто применяется в более сложных системах из соображений унификации используемой элементной базы, а также при проведении экстренных ремонтных работ в условиях отсутствия нового 3/2 распределителя, следует рассмотреть и схему с использованием 5/2 распределителя.

Использование пневмоцилиндра двухстороннего действия.



При нажатии на пневмокнопку «Пуск» (срабатывание 4/2 распределителя с ручным управлением) шток цилиндра выдвигается, перемещая заготовку на рабочую позицию сверлильного станка. После ее отпускания шток возвращается в исходную позицию.
Примечание. В базовой комплектации тренажера отсутствует 4/2 распределитель с ручным управлением, поэтому моделировать схему следует с 5/2 пневмораспределителем.

Подача заготовок на рабочую позицию сверлильного станка.

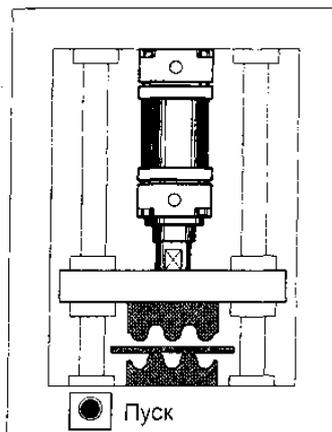


Непрямое управление.

Снабдить пресс для штамповки гофрированного металлического листа пневматическим приводом. При нажатии на пневматическую кнопку «Пуск» шток цилиндра выдвигается и, опуская пуансон, производит операцию штамповки.

После отпускания пусковой кнопки шток возвращается в исходную позицию.

Пневмоприводной пресс для гофрирования металлического листа.

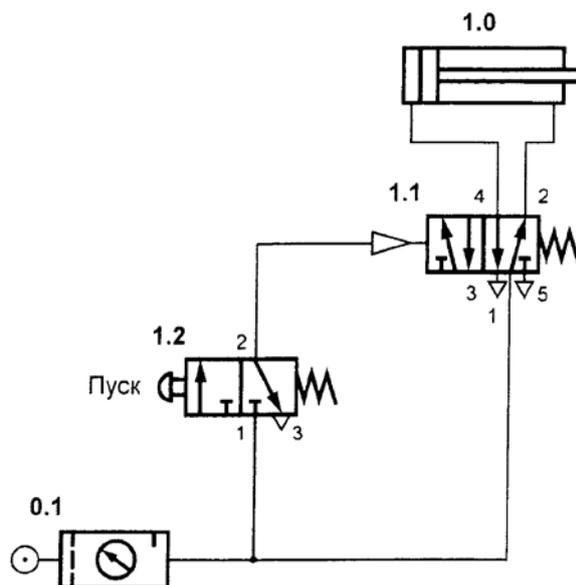


Задание: Разработать принципиальную пневматическую схему системы управления пресса на базе пневмоцилиндра двухстороннего действия. Смоделировать систему управления на тренажере.

Для обеспечения необходимого усилия прессования должен быть использован цилиндр достаточно большого диаметра. При прямом управлении расход сжатого воздуха через пневматическую кнопку будет недостаточен для обеспечения быстрого выдвижения штока цилиндра, следовательно, необходимо применить не прямое управление пневмоцилиндром.

Пневмопривод пресса для гафрирования металлического листа.

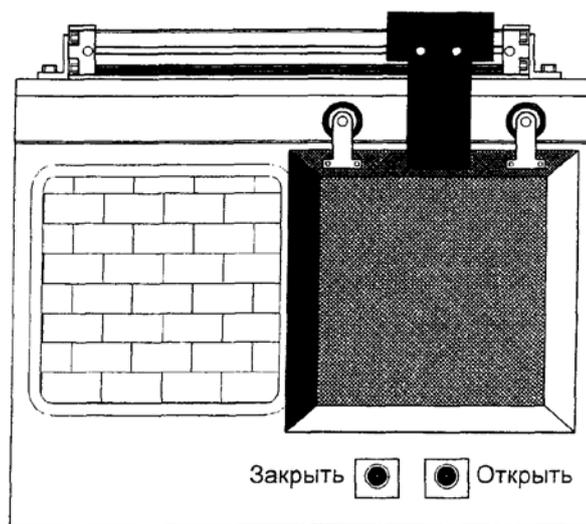
Непрямое управление пневмоцилиндром двухстороннего действия
(моностабильная схема)



В муфельной печи дверь должна приводиться в движение пневмоприводом на базе бесштокового пневмоцилиндра.

Закрытие и открытие двери производить кратковременным нажатием соответствующих пневмокнопок.

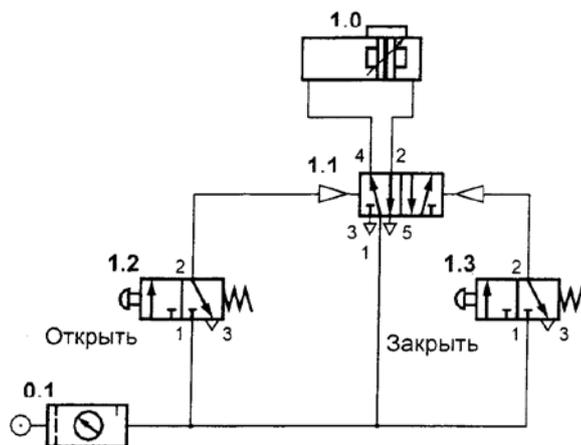
Муфельная печь с пневмоприводной дверью.



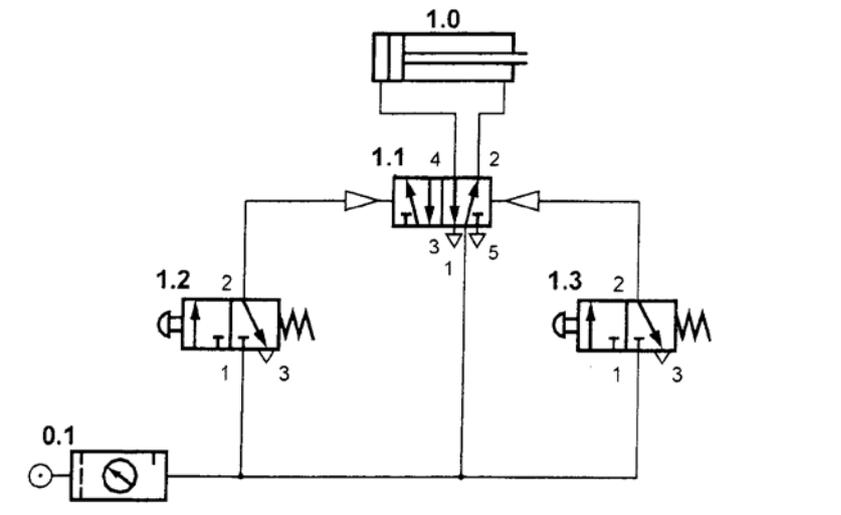
Задание: Разработать принципиальную пневматическую схему системы управления дверью муфельной печи на базе пневмоцилиндра двухстороннего действия. Смоделировать пневмопривод на тренажере.

Для того, чтобы дверь муфельной печи оставалась в положении «Открыто» или «Закрето» после кратковременного нажатия соответствующих кнопок, управлять приводным пневмоцилиндром необходимо бистабильным 4/2 или 5/2 распределителем.

Управление дверью муфельной печи.



Примечание. В базовой комплектации тренажера отсутствует бесштоковый пневмоцилиндр, поэтому моделировать схему следует используя пневмоцилиндр двухстороннего действия традиционной конструкции.



Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Рассказать об основных способах управления пневмоцилиндрами одностороннего и двухстороннего действия.

Лабораторная работа № 14

Управление пневмоцилиндрами по скорости и положению

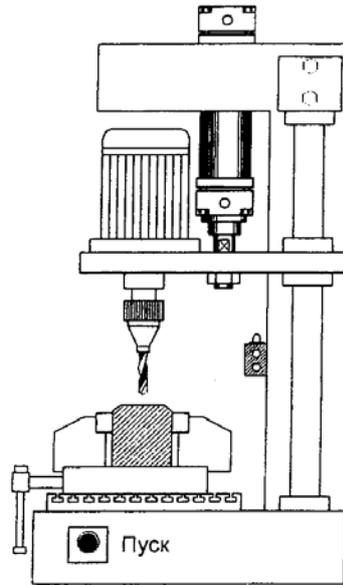
Цель работы: Ознакомление с основными способами управления скоростью и положением выходного звена исполнительных механизмов.

Задание: Изучение особенностей управления скоростью и положением выходного звена исполнительных механизмов.

Порядок выполнения:

Осуществить подачу рабочего инструмента на сверлильном станке посредством пневмопривода. При кратковременном нажатии на пневмокнопку « Пуск » патрон с инструментом совершает рабочую операцию и после ее выполнения автоматически возвращается в исходную позицию (скорость рабочей подачи должна быть регулируемой, скорость отвода инструмента должна быть максимально возможной).

Сверлильный станок с пневмоприводом рабочего инструмента.



Разработать принципиальную пневматическую схему системы управления подачей рабочего инструмента. Смоделировать систему на тренажере.

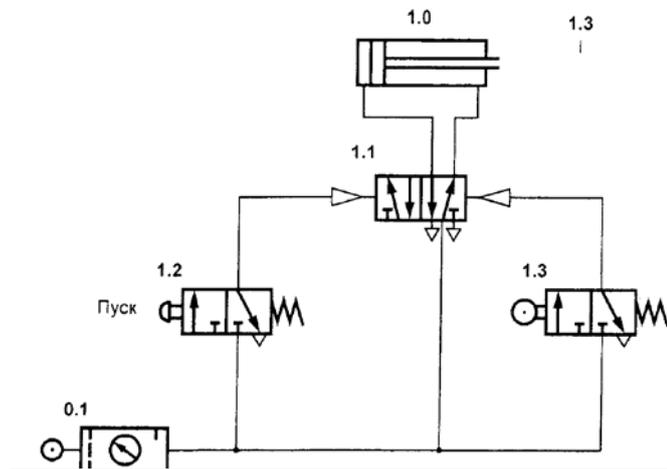
Решение задачи следует разбить на этапы:

разработка принципиальной схемы системы управления без учета дополнительных условий, моделирование решения на тренажере;

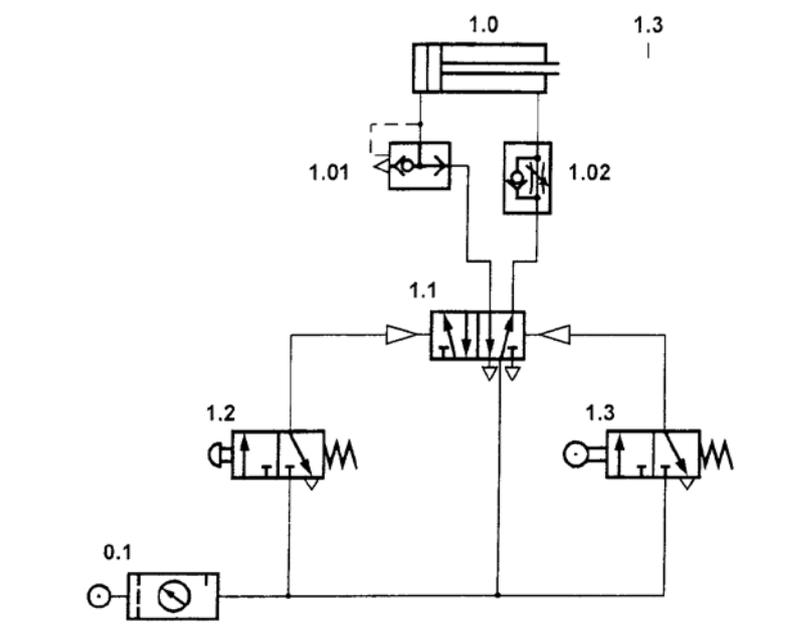
модернизация полученной принципиальной схемы с учетом первого дополнительного условия, моделирование решения на тренажере.

Решение без учета дополнительных условий:

Управление пневмоцилиндром по положению.



Решение с учетом дополнительных условий:



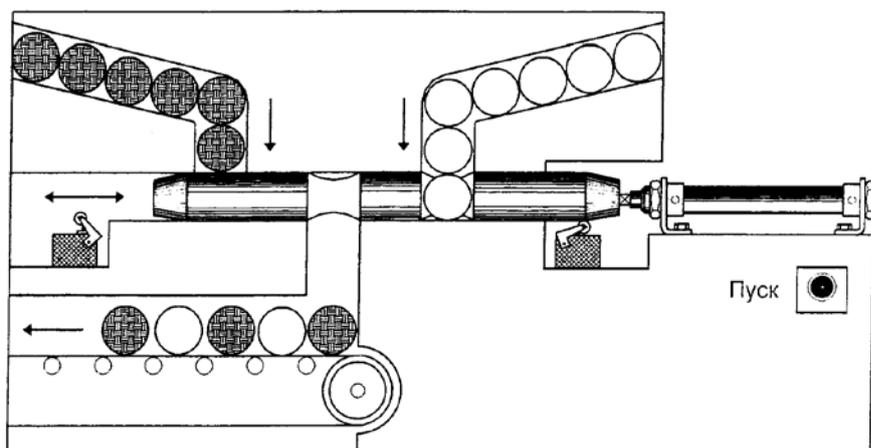
Задание: Обеспечить поочередную подачу деталей из двух накопителей на конвейер.
 При включенной пневмокнопке « Пуск » плунжер загрузки совершает возвратно-поступательное движение. После отпускания кнопки « Пуск » происходит остановка плунжера в любом крайнем положении.

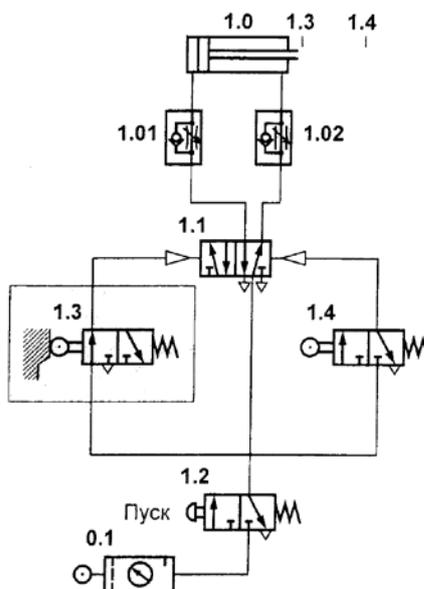
Разработать принципиальную пневматическую схему системы управления.

Смоделировать пневматическую систему управления на тренажере

Станок для поочередной подачи деталей из двух накопителей на конвейер.

Станок для поочередной подачи деталей из двух накопителей на конвейер.





Примечание. В приведенной схеме применена сквозная индикация входящих в нее элементов, т.к. распределитель 1.2 запитывается распределители 1.3 и 1.4, управляющие выдвиганием и втягиванием штока пневмоцилиндра.

Обратить внимание учащихся на изображение концевого выключателя 1.3, который в исходном положении привода активирован.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Рассказать о средствах пневмоавтоматики, реализующими основные логические функции.

Лабораторная работа № 15

Реализация логических функций в пневмосистемах

Цель работы: Ознакомление со средствами пневмоавтоматики, реализующими основные логические функции.

Задание: Ознакомление со средствами пневмоавтоматики, реализующими основные логические функции. Рассматриваются способы реализации основных логических функций не только на основе логических пневмоклапанов, но и посредством схемных решений

Порядок выполнения:

Машина для обрезки листов бумаги до заданного формата снабжена пневматическим

приводом. Для обеспечения безопасности работы оператора пуск должен производиться только при нажатии двух кнопок. Возврат резака осуществляется автоматически после выполнения рабочей операции.

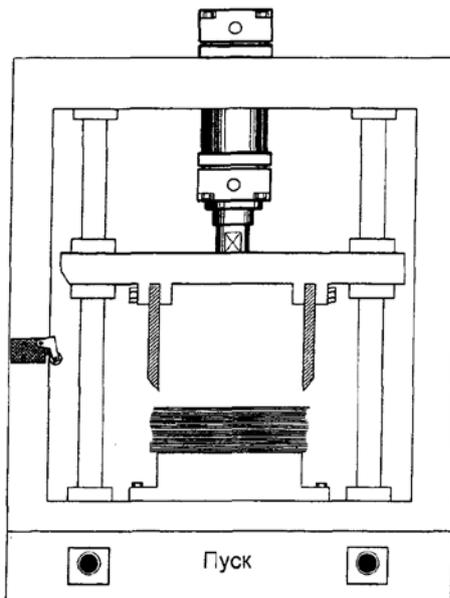
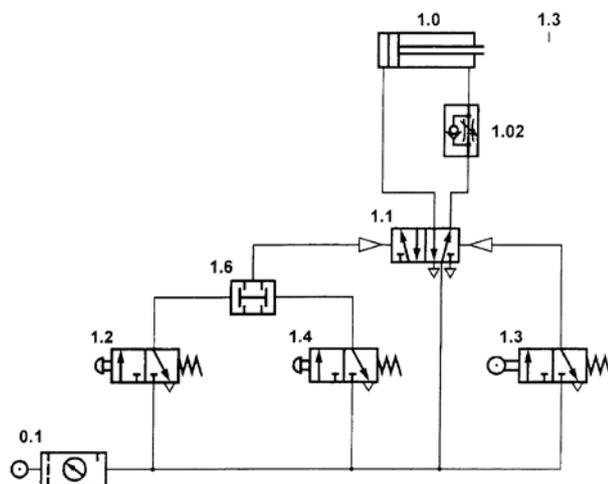


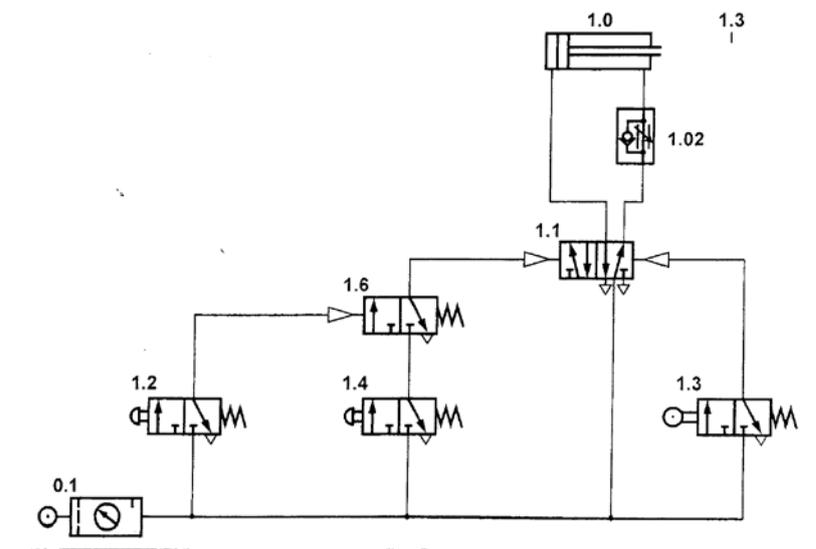
Рис.15.1 –Бумагорезательная машина

Задача. Разработать принципиальную пневматическую схему бумагорезательной машины на базе пневмоцилиндра двухстороннего действия. Смоделировать систему на тренажере.

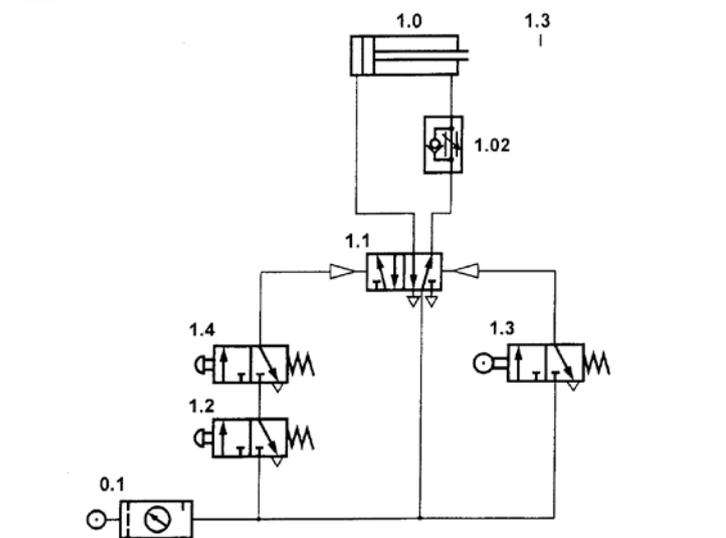
Пневматическая система управления бумагорезательной машины.



Реализация логической функции «И» с использованием 3/2 нормально закрытого моностабильного распределителя с пневматическим управлением.



Реализация логической функции «И» последовательным соединением двух нормально закрытых 3/2 распределителей.



Примечание. С точки зрения минимизации элементной базы данное решение является наиболее оптимальным для данной задачи. Однако следует обратить внимание обучающихся на то, что в более сложных схемах далеко не всегда удастся реализовать логическую функцию «И» без применения логического пневмоклапана.

Задача. Зажим заготовки на фрезерном станке осуществляется пневмоприводом при нажатии одной из двух пусковых кнопок. Разжим заготовки производится третьей кнопкой. Зажим возможен только при наличии заготовки. Разжим должен быть заблокирован при фрезеровании заготовки.

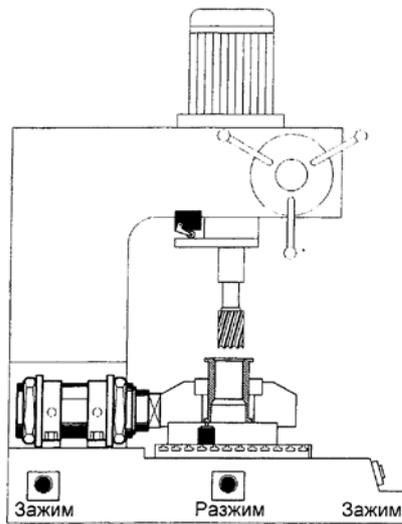
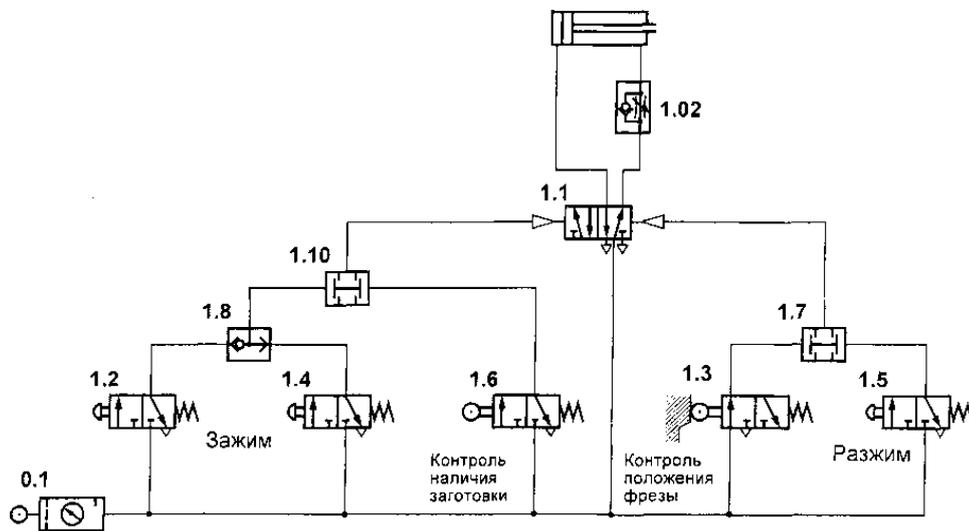


Рис.15.2.- Зажимное устройство

Разработать принципиальную пневматическую схему системы управления зажимом заготовки. Смоделировать систему управления на тренажере.



Форма отчетности:
Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

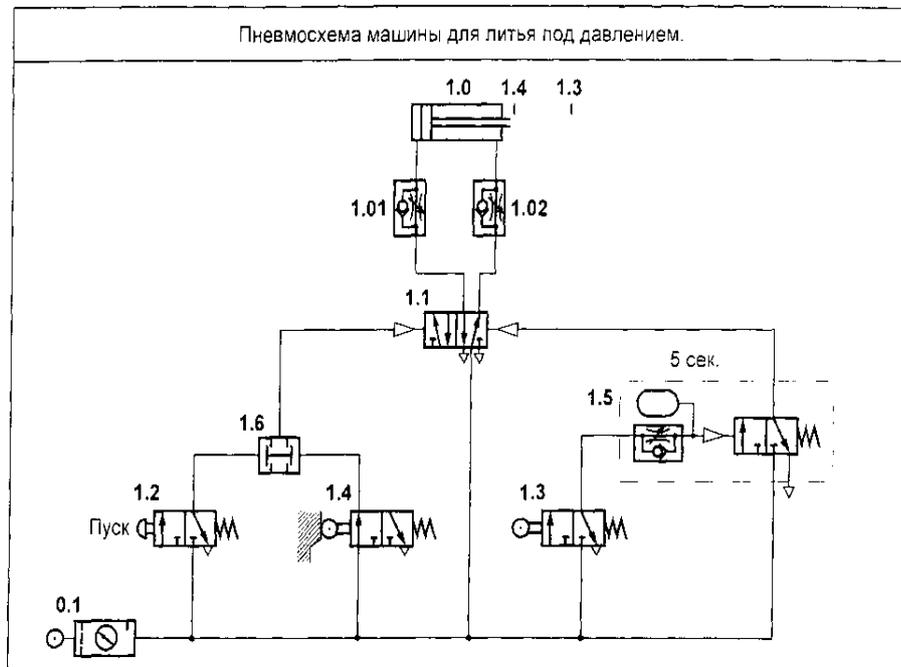
[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Рассказать о средствах пневмоавтоматики, реализующими основные логические функции.



Задача. Запрессовка бронзовой втулки в крышку цилиндра осуществляется на пневмоприводном прессе. Для того, чтобы не допустить попадание рук оператора в опасную зону при рабочем ходе пресса, его пуск осуществляется нажатием двух кнопок. С целью исключения попытки управления прессом одной пусковой кнопкой (при принудительно зафиксированной во включенном положении второй кнопке) интервал между нажатием пусковых кнопок не должен превышать 0.5 сек. При отпуске одной, или обеих кнопок шток приводного цилиндра немедленно втягивается.

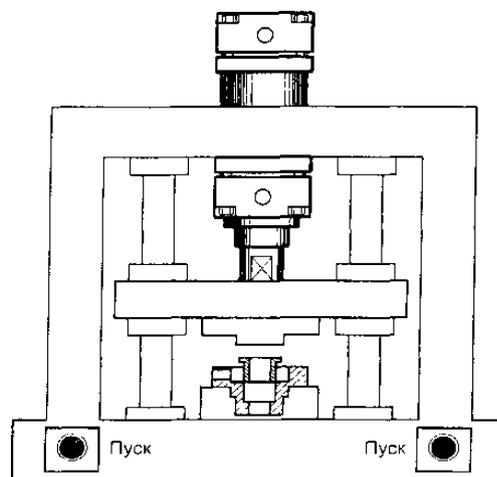
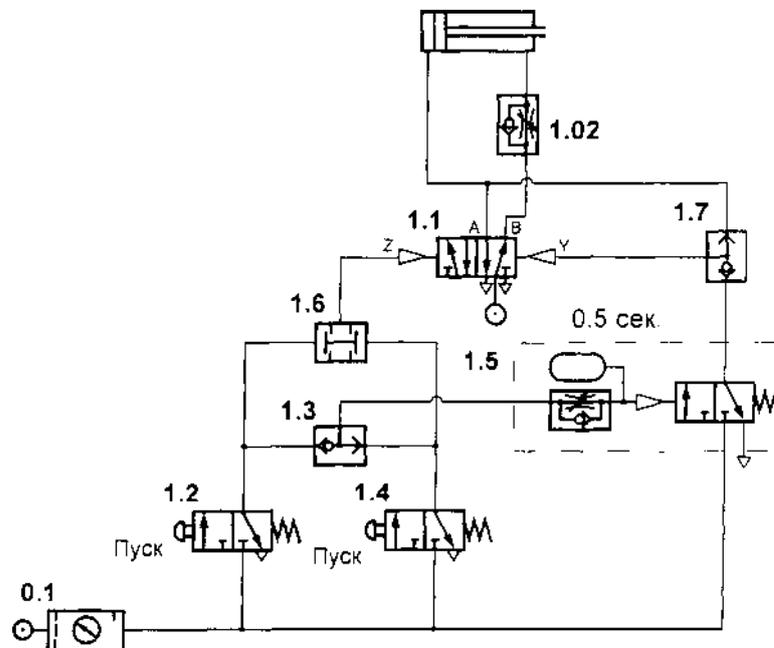


Рис.16.2. - Пневмоприводной пресс с двуручным управлением.

Задание. Разработать принципиальную пневматическую схему пресса с двуручным управлением. Смоделировать пневмопривод на тренажере.



Решение основано на свойстве бистабильных распределителей оставаться в положении, которое определяется первым из двух поступивших на входы Z или Y управляющих сигналов.

Принцип действия схемы. При одновременном нажатии (или с интервалом 0.5 сек.) двух пусковых кнопок (1.2 и 1.4) сигнал от пневмоклапана «И» подается на распределитель 1.1 (в канал Z) и переключает его - шток цилиндра 1.0 начинает выдвигаться. При этом сигнал из канала A распределителя 1.1 через пневмоклапан «ИЛИ» 1.7 поступает на распределитель 1.1 (в канал Y), но не переключает его в исходное состояние, т.к. в канале Z сигнал уже присутствует. Через 0.5 сек. после нажатия первой из пусковых кнопок сигнал от нее через пневмоклапан «ИЛИ» 1.3, пневмоклапан выдержки времени 1.5 и пневмоклапан «ИЛИ» 1.7 также поступает на распределитель (в канал Y).

Если пусковые кнопки нажать с интервалом большим, чем 0.5 сек., то на распределителе 1.1 сначала появится управляющий сигнал в канале Y (через 0.5 сек. после нажатия любой пусковой кнопки), блокируя действие сигнала в канале Z, который появится после нажатия второй кнопки «Пуск» - распределитель 1.1 останется в исходном состоянии.

Если отпустить одну или обе пусковые кнопки, то сигнал на выходе пневмоклапана «И» 1.6 и в канале Z распределителя пропадет, что приведет к переключению распределителя под действием сигнала в канале Y, поступающему с выхода A и возврату штока цилиндра 1.0 в исходное состояние.

Управление по давлению.

Пластиковые бутылки, поступающие по конвейеру в рабочую зону установки, сдвигаются в позицию упаковки по команде оператора. Команда на возврат цилиндра в исходную позицию формируется не по положению его штока, а по давлению (1,2 бар) в бесштоковой полости.

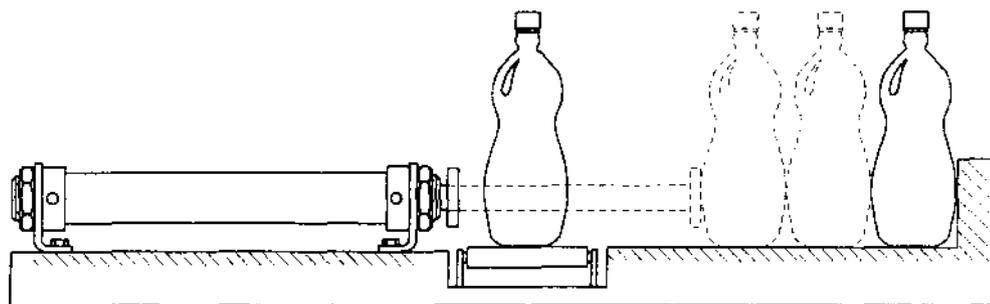


Рис.16.3. – Установка для формирования комплектов бутылок

Задание. Разработать принципиальную пневматическую схему установки для формирования комплектов бутылок. Смоделировать пневмопривод на тренажере.

Примечание. Поскольку в комплектацию стенда-тренажера не входит клапан последовательности, для моделирования установки необходимо воспользоваться трехлинейным редукционным клапаном и триггером (бистабильным распределителем с двусторонним пневматическим управлением).

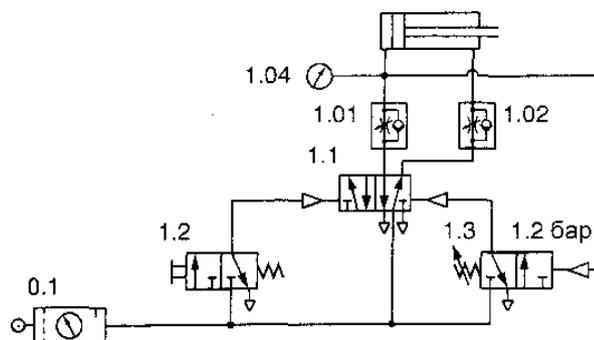


Рис.16.4. - Принципиальная пневматическая схема с использованием клапана последовательности.

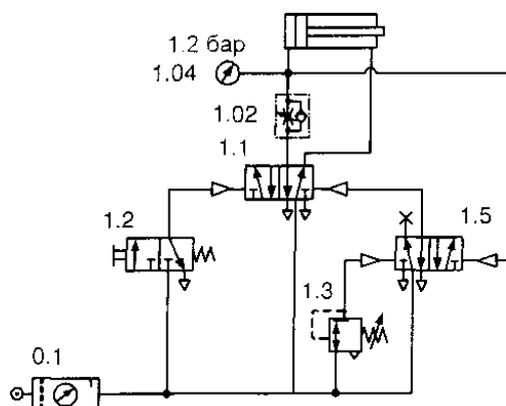


Рис.16.5. - Принципиальная пневматическая схема с применением трехлинейного редукционного клапана и триггера.

Схемное решение основано на свойстве триггеров (бистабильных распределителей): при одновременной подаче двух управляющих сигналов переключаться в позицию, определяемую сигналом с большим давлением.

Для визуализации нарастания давления в бесштоковой полости цилиндра управление скоростью выдвижения штока осуществляется дросселированием натекающего воздуха.

Редукционный клапан 1.3 следует настроить таким образом, чтобы возврат штока цилиндра 1.0 происходил при показании манометра 1.04 в 1.2 бара.

Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Рассказать о принципе действия пневмоклапанов выдержки времени, о реализации управления по давлению.

Лабораторная работа № 17

Релейно-контактные системы управления пневмоприводами

Цель работы: Изучение работы электропневматических устройств и принципов построения релейно-контактных схем управления.

Задание: Изучить работу электропневматических устройств и принципов построения релейно-контактных схем управления.

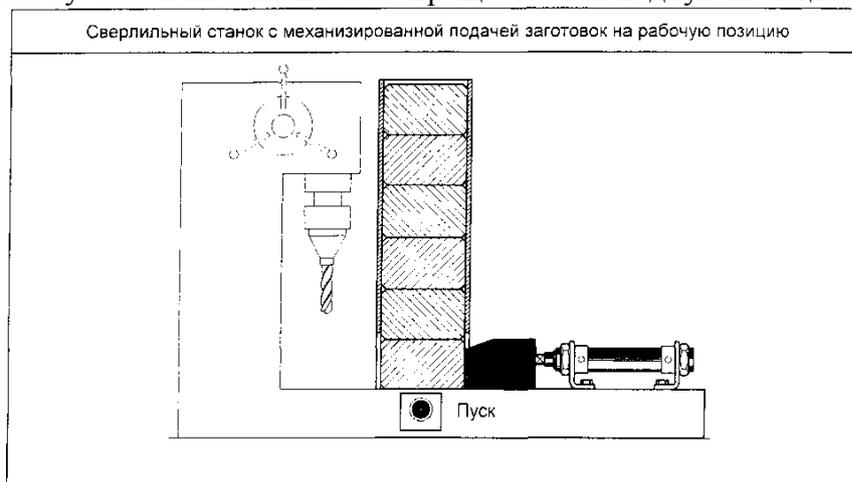
Работа заключается в решении задач, приведенных в предыдущих лабораторных работах, с использованием релейно-контактных и электропневматических устройств

Порядок выполнения:

Обеспечить подачу заготовок на рабочую позицию сверлильного станка из накопителя посредством электропневмопривода.

При нажатии на электрическую кнопку «Пуск» шток цилиндра выдвигается и перемещает заготовку из накопителя в рабочую позицию.

После отпускания пусковой кнопки шток возвращается в исходную позицию.



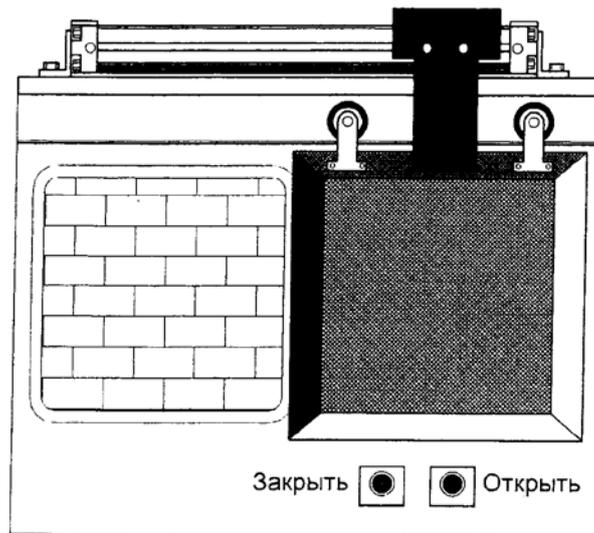
В муфельной печи дверь должна приводиться в движение электропневмоприводом на базе бесштокового пневмоцилиндра.

Закрытие и открытие двери производить кратковременным нажатием соответствующих выключателей.

Задание. Разработать принципиальные пневматическую и релейно-контактную схемы привода муфельной печи на базе пневмоцилиндра двухстороннего действия.

Смоделировать электропневмопривод на тренажере

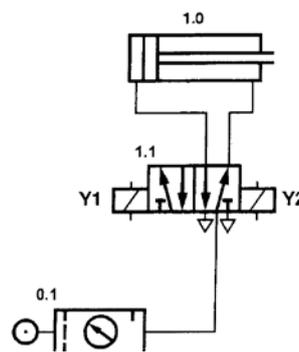
Муфельная печь с пневмоприводной дверью.



Для того, чтобы дверь муфельной печи оставалась в положении «Открыто» или «Закрето» после кратковременного нажатия соответствующих выключателей, управлять приводным пневмоцилиндром необходимо бистабильным (импульсным) 4/2 или 5/2 электропневматическим распределителем.

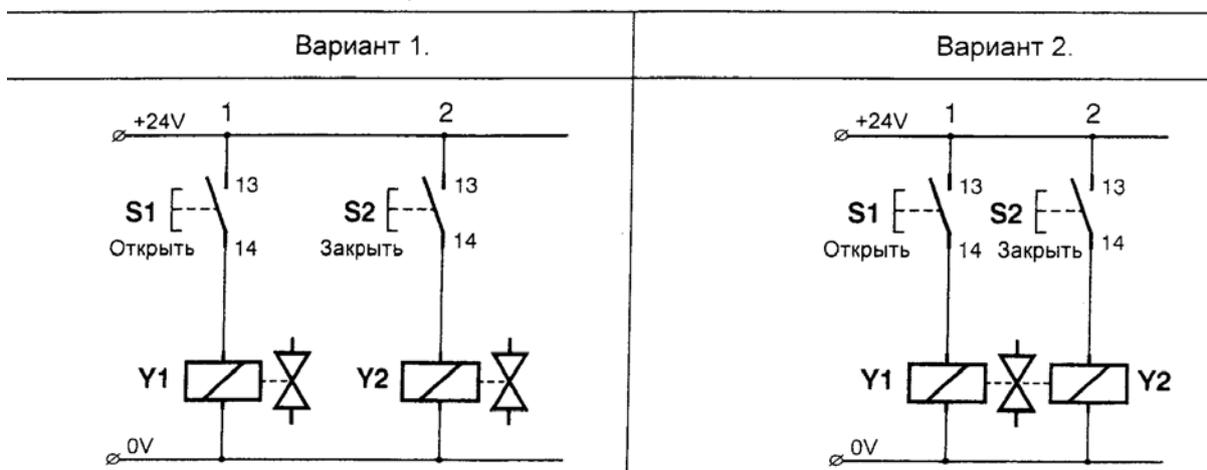
Управление дверью муфельной печи.

Принципиальная пневматическая схема.



Управление дверью муфельной печи.

Электрическая схема.



Форма отчетности:

Отчет.

Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с текстом лекций.
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

Основная литература:

[1,2] из раздела 7.

Дополнительная литература:

[4,5] из раздела 7.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Рассказать о работе электропневматических устройств и принципах построения релейно-контактных схем управления.

9.2. Методические указания по выполнению курсовой работы, контрольной работы

Выполнение обучающимися курсовой работы производится с целью:

- 1) систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений;
- 2) углубления теоретических знаний в соответствии с заданной темой;
- 3) формирования умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов;
- 4) формирования умений использовать справочную, нормативную документацию;
- 5) развития творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

Тематика курсовых работ разрабатывается преподавателем.

Курсовая работа носит практический характер, который состоит из:

- 1) введения, в котором раскрывается актуальность и значение темы, формулируются цели и задачи работы;
- 3) основной части, которая обычно состоит из двух разделов: в первом разделе содержатся теоретические основы разрабатываемого приложения; вторым разделом является практическая часть, которая представлена расчетами, графиками, таблицами, схемами, формами и т.п.;
- 4) заключения, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей практического применения материалов работы;
- 5) списка используемой литературы;
- 6) приложения.

Во введении (объемом 2-3 страницы) раскрывается актуальность и новизна темы, ее научная и практическая значимость, основные направления исследования, формулируются цели и задачи исследования, указываются предмет и объект исследования, а также характеризуются источники и материалы, использованные в процессе исследования.

Основная часть курсовой работы, как правило, состоит из теоретического и практического разделов. Основная часть должна содержать данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненного исследования:

- выбор направления исследования, включающий обоснование принятого направления исследования, метода решения задач и их сравнительную оценку, разработку общей методики исследования;
- теоретические и (или) экспериментальные исследования, включающие определение характера и содержания теоретических исследований, методов исследований;
- обобщения и оценку результатов исследования, включающие оценку полноты решения поставленной задачи

Основную часть курсовой работы следует делить на разделы. Разделы основной части могут делиться на пункты или на подразделы и пункты. Пункты при необходимости могут делиться на подпункты. Каждый подпункт должен содержать законченную информацию.

Заключение (объемом не менее 2 страниц) должно содержать итоги работы, выводы, полученные в ходе работы, разработку рекомендаций по конкретному использованию результатов курсовой работы. Заключение должно быть кратким, обстоятельным и соответствовать поставленным целям и задачам.

Оформление курсовой работы: объём отчёта должен составлять 20-30 страниц печатного текста. Следует придерживаться следующих параметров оформления отчёта: формат листа отчёта – А4, размеры полей: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу 20 мм. Шрифт Times New Roman, кегль 14. Абзацный отступ – 1,5 см, выравнивание абзаца – по ширине, межстрочный интервал – полуторный. Текст печатается только на одной стороне листа. Страницы должны быть пронумерованы внизу страницы справа. Нумерация страниц – сквозная для всего отчёта, на первом (титульном) листе номер не ставится.

Курсовая работа должна быть правильно оформлена, написана грамотно и аккуратно. Начинать работу нужно с тщательного изучения дисциплины в объеме программы. Далее необходимо подобрать соответствующий литературный и практический материал. В процессе написания можно привлечь дополнительную литературу. Не возбраняется использование переработанных данных электронных ресурсов. Работа должна быть логичной, научной по своему содержанию; в ней в систематизированной форме должны быть изложены материалы проведенного исследования и его результаты.

Выполнение обучающимися контрольной работы производится с целью:

1) систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений;

2) углубления теоретических знаний в соответствии с заданной темой.

Тематика контрольных работ разрабатывается преподавателем.

Контрольная работа состоит из:

1) основной части, которая обычно состоит из двух разделов: в первом разделе содержатся теоретические основы разрабатываемого приложения; вторым разделом является практическая часть, которая представлена расчетами, графиками, таблицами, схемами, формами и т.п.;

2) заключения, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей практического применения материалов работы;

3) списка используемой литературы.

Основная часть контрольной работы, как правило, состоит из теоретического и практического разделов. Основная часть должна содержать данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненного исследования:

- выбор направления исследования, включающий обоснование принятого направления исследования, метода решения задач и их сравнительную оценку, разработку общей методики исследования;

- теоретические и (или) экспериментальные исследования, включающие определение характера и содержания теоретических исследований, методов исследований;

- обобщения и оценку результатов исследования, включающие оценку полноты решения поставленной задачи

Заключение должно содержать итоги работы, выводы, полученные в ходе работы, разработку рекомендаций по конкретному использованию результатов работы. Заключение должно быть кратким, обстоятельным и соответствовать поставленным целям и задачам.

Оформление контрольной работы: объём отчёта должен составлять 10-15 страниц печатного текста. Следует придерживаться следующих параметров оформления отчёта: формат листа отчёта – А4, размеры полей: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу 20 мм. Шрифт Times New Roman, кегль 14. Абзацный отступ – 1,5 см, выравнивание абзаца – по ширине, межстрочный интервал – полуторный. Текст печатается только на одной стороне листа. Страницы должны быть пронумерованы внизу страницы справа. Нумерация страниц – сквозная для всего отчёта, на первом (титульном) листе номер не ставится.

Контрольная работа должна быть правильно оформлена, написана грамотно и аккуратно.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для получения информации при подготовке к занятиям, создания презентационного сопровождения лекций, создания тематических веб-сайтов, интерактивного общения, участия в онлайн-конференциях, работы в электронной информационной среде, используется следующее программное обеспечение:

- Microsoft Imagine Premium (ОС Windows 7 Professional);
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
- Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Расширенный Russian Edition. 1000-1499 Node 1 year Educational Renewal License;
- КОМПАС-3D V13;
- Adobe Reader.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР</i>
1	2	3	4
Лк	Лекционная аудитория (мультимедийный класс)	Учебная мебель, проектор мультимедийный «CASIO» XJ-UT310WN с настенным креплением CASIO YM-88 Интерактивная доска Promethean 88 ActivBoard Touch Dry Erase 6 касаний с настенным креплением и программным обеспечением Promethean ActivInspire Монитор 17" LG L1753-SF (silver-blek) Системный блок (AMD 690G,mANX,HDD Seagate 250Gb,DIMM DDR//2*512Mb,DVDRV,FDD)	
ЛР	Лаборатория общей гидравлики	Учебная мебель, интерактивная доска SMARTBoard 6801 со встроенным проектором Unifi 35 (диаг.77"/195,6 см); Телевизор LCD 42" Philips 42 PFL3605; Настольная лаборатория гидравлики; Лабораторный стенд «Работа насосов различных типов»;	ЛР 1-3
ЛР	Лаборатория гидро-пневмопривода	Учебная мебель, учебно-лабораторный стенд для изучения гидравлических приводов «Гидравлические приводы с ПЛК»; Гидравлические и пневматические системы и средства автоматизации; Настольная лаборатория гидравлики;	ЛР 4-17
КР Кр	Лаборатория автоматизации систем проектирования	Учебная мебель, системный блок (AMD 690G,mANX,HDD Seagate 250Gb,DIMM DDR//2*512Mb,DVDRV,FDD); Системный блок Cel D-315; Системный блок CPU 4000.2*512MB;	-

		Монитор Терминал TFT 19 LG L1953S-SF; Системный блок AMD Athlon 64X2; Системный блок Celeron 2,66; Сканер HP 3770; Монитор 15 LG; Системный блок iCel 433; Принтер HP LJ P2015	
СР	Читальный зал №1	Учебная мебель, оборудование 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (монитор TFT19 Samsung);принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	ФОС
ОПК-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	1. Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.	Экзаменационные вопросы 1– 4
		2. Основы гидростатики. Основы гидродинамики.	Экзаменационные вопросы 5– 14
		3. Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.	Экзаменационные вопросы 15-26
		4. Гидравлический расчет простых трубопроводов.	Экзаменационные вопросы 27-32
ПК-4	Способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов	5. Гидравлические машины.	Экзаменационные вопросы 33-37
		6. Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.	Экзаменационные вопросы 38-45
		7. Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители	Экзаменационные вопросы 46-57
		8. Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем	Экзаменационные вопросы 58-70
		9. Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).	Экзаменационные вопросы 71 - 75
		10. Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.	Экзаменационные вопросы 76 - 80
		11. Схемы типовых гидросистем.	Экзаменационные вопросы 81 - 86
		12. Пневматический привод.	Экзаменационные вопросы 87 - 89

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Краткая история развития гидравлики. 2. Жидкость и силы действующие на нее. 3. Механические характеристики. 4. Основные свойства жидкостей 5. Гидростатическое давление. 6. Основное уравнение гидростатики. 7. Давление жидкости на плоскую наклонную стенку. 8. Давление жидкости на цилиндрическую поверхность. 9. Закон Архимеда и его приложение. 10. Поверхности равного давления. 11. Основные понятия о движении жидкости. 12. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости. 13. Уравнение Бернулли для реальной жидкости. 14. Измерение скорости потока и расхода жидкости. 15. Режимы движения жидкости. 16. Кавитация. 17. Потери напора при ламинарном течении жидкости. 18. Потери напора при турбулентном течении жидкости. 19. Местные гидравлические сопротивления 20. Истечение через малые отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре. 21. Истечение при несовершенном сжатии. 22. Истечение под уровень. 23. Истечение через насадки при постоянном напоре. 24. Истечения через отверстия и насадки при переменном напоре (опорожнение сосудов). 25. Истечение из-под затвора в горизонтальном лотке. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития. 2. Основы гидростатики. Основы гидродинамики. 3. Гидравлическое сопротивление. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.
2.	ПК-4	Способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов		

			<p>26. Давление струи жидкости на ограждающие поверхности.</p> <p>27. Простой трубопровод постоянного сечения.</p> <p>28. Соединения простых трубопроводов.</p> <p>29. Сложные трубопроводы.</p> <p>30. Трубопроводы с насосной подачей жидкостей.</p> <p>31. Гидравлический удар.</p> <p>32. Изменение пропускной способности трубопроводов в процессе их эксплуатации.</p> <p>33. Лопастные насосы.</p> <p>34. Поршневые насосы.</p> <p>35. Индикаторная диаграмма поршневых насосов.</p> <p>36. Баланс энергии в насосах.</p> <p>37. Обозначение элементов гидро- и пневмосистем.</p> <p>38. Структурная схема гидропривода.</p> <p>39. Классификация и принцип работы гидроприводов.</p> <p>40. Преимущества и недостатки гидропривода</p> <p>41. Характеристика рабочих жидкостей.</p> <p>42. Выбор и эксплуатация рабочих жидкостей.</p> <p>43. Гидравлические линии.</p> <p>44. Соединения.</p> <p>45. Расчет гидролиний.</p> <p>46. Гидравлические машины шестеренного типа.</p> <p>47. Пластинчатые насосы и гидромоторы.</p> <p>48. Радиально-поршневые насосы и гидромоторы.</p> <p>49. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы.</p> <p>50. Механизмы с гибкими разделителями.</p> <p>51. Классификация гидроцилиндров.</p> <p>52. Гидроцилиндры прямолинейного действия.</p> <p>53. Расчет гидроцилиндров.</p> <p>54. Поворотные гидроцилиндры.</p> <p>55. Золотниковые гидрораспределители.</p>	<p>4. Гидравлический расчет простых трубопроводов.</p> <p>5. Гидравлические машины</p> <p>6. Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии</p> <p>7. Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители</p>
--	--	--	---	---

			<p>56. Крановые гидрораспределители. 57. Клапанные гидрораспределители.</p> <p>58. Напорные гидроклапаны. 59. Редукционный клапан. 60. Обратные гидроклапаны. 61. Ограничители расхода. 62. Делители (сумматоры) потока. 63. Дроссели и регуляторы расхода 64. Гидробаки и теплообменники. 65. Фильтры. 66. Уплотнительные устройства. 67. Гидравлические аккумуляторы. 68. Гидрозамки. 69. Гидравлические реле давления и времени. 70. Средства измерения.</p> <p>71. Классификация гидроусилителей. 72. Гидроусилитель золотникового типа. 73. Гидроусилитель с соплом и заслонкой. 74. Гидроусилитель со струйной трубкой. 75. Двухкаскадные усилители.</p> <p>76. Способы разгрузки насосов от давления. 77. Дроссельное регулирование. 78. Объемное регулирование. 79. Комбинированное регулирование. 80. Сравнение способов регулирования.</p> <p>81. Гидросистемы с регулируемым насосом и дросселем. 82. Гидросистемы с двухступенчатым усилением. 83. Гидросистемы непрерывного (колебательного) движения. 84. Электрогидравлические системы с регулируемым насосом. 85. Гидросистемы с двумя спаренными насосами. 86. Питание одним насосом двух и несколько гидродвигателей.</p> <p>87. Особенности пневматического привода, достоинства и недостатки. 88. Течение воздуха. 89. Исполнительные пневматические устройства</p>	<p>8. Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем</p> <p>9. Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).</p> <p>10. Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.</p> <p>11. Схемы типовых гидросистем.</p> <p>12. Пневматический привод.</p>
--	--	--	---	--

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать: (ОПК-2) методики исследования конструкций наземных транспортно-технологических систем; (ПК-4) основы конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов;</p> <p>Уметь: (ОПК-2) проводить исследования конструкций наземных транспортно-технологических систем; (ПК-4) разрабатывать основы конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов;</p> <p>Владеть: (ОПК-2) методиками исследования конструкций наземных транспортно-технологических систем; (ПК-4) навыками разработки конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов.</p>	отлично	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он демонстрирует полное освоение теоретического содержания дисциплины; представляет практические навыки работы на учебных стендах учетом основных требований безопасности; все учебные задания выполнены правильно, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.
	хорошо	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если в усвоении учебного материала им допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа; допущены один – два недочета в формировании навыков решений практических задач.
	удовлетворительно	Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если в его ответе содержание теоретического материала раскрыто неполно, но показано общее понимание вопроса.
	неудовлетворительно	обучающийся демонстрирует полное отсутствие знаний основных понятий гидравлики и гидропневмопривода СДМ, навыков решения практических задач на учебных стендах.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Изучение дисциплины «Гидравлика и гидропневмопривод» охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательскому и проектно-конструкторскому видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам:

1. Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.
2. Основы гидростатики. Основы гидродинамики.
3. Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.
4. Гидравлический расчет простых трубопроводов.
5. Гидравлические машины.
6. Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.
7. Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители
8. Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем
9. Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).
10. Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.
11. Схемы типовых гидросистем.
12. Пневматический привод.

Закрепление всех вопросов, рекомендуемых для лабораторных работ, а также при подготовке к экзамену, требует основательной самостоятельной подготовки. Учитывая значимость самостоятельной работы, литература, вопросы для самопроверки - в разделах «Лабораторные работы» и «Фонд оценочных средств».

Работа с литературой является обязательной. При этом приветствуется привлечение дополнительных источников из Интернета. В случае возникновения определенных вопросов, обучающийся может обратиться к преподавателю за консультацией как на лабораторных работах, так и во время индивидуальных консультаций.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в виде лекций, лабораторных работ в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ

рабочей программы дисциплины Гидравлика и гидропневмопривод

1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является: осуществление информационного поиска по основам гидравлики и гидропневмопривода СДМ, участие в составе коллектива исполнителей при производстве и испытании гидроагрегатов СДМ.

Задачей изучения дисциплины является: получение общих сведений об основных тенденциях и направлениях в развитии оборудования, используемых на предприятиях строительного комплекса; получение общих сведений об основных научно-технических проблемах и перспективах развития науки и техники в области строительной индустрии.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: ЛР – 35 час., Лк-35 час., СР – 155 час.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 252 часов, 7 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Введение. Предмет гидравлики и краткая история ее развития.
2. Основы гидростатики. Основы гидродинамики.
3. Гидравлические сопротивления. Истечение жидкости из отверстий, насадков и из-под затворов.
4. Гидравлический расчет простых трубопроводов.
5. Гидравлические машины.
6. Общая характеристика гидропривода. Рабочие жидкости для гидросистем. Гидравлические линии.
7. Насосы и гидромоторы. Гидроцилиндры. Гидрораспределители
8. Регулирующая и направляющая гидроаппаратура. Вспомогательные устройства гидросистем
9. Гидравлические следящие приводы (гидроусилители).
10. Системы разгрузки насосов и регулирования гидродвигателей.
11. Схемы типовых гидросистем.
12. Пневматический привод.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 - способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы;

ПК-4 - способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов.

4. Вид промежуточной аттестации: экзамен.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20___-20___ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры СДМ №___ от «___» _____ 20___ г.,

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы от «06» марта 2015г. №162

для набора 2015 года: и учебными планами ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «13» июля 2015г. № 474, для заочной формы обучения от «01» октября 2015 г. № 587;

для набора 2016 года: и учебными планами ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429, для заочной формы обучения от «06» июня 2016 г. № 429; для ускоренной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429.

для набора 2017 года: и учебными планами ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017г. № 125, для заочной формы обучения от «06» марта 2017г. № 125; для ускоренной формы обучения от «04» апреля 2017г. № 203.

для набора 2018 года: и учебными планами ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130, для заочной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130.

Программу составил:

Федоров Вячеслав Сергеевич, к.т.н., доцент

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры СДМ от «24» декабря 2018г., протокол №6

И.о. заведующего кафедрой СДМ

К.Н. Фигура

СОГЛАСОВАНО:

И.о. заведующего кафедрой СДМ

К.Н. Фигура

Директор библиотеки

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией МФ от «28» декабря 2018 г., протокол №5

Председатель методической комиссии МФ

Г.Н. Плеханов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления
Регистрационный № _____

Г.П. Нежевец