

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка и реализация стенда физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах

УДК 004.42:681.51.01:62-585

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8E62	Подковыров Илья Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	К.Т.Н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P1	Применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, в том числе их систем управления
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и систем
P3	Применять полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных мехатронных и робототехнических устройств и систем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий мирового уровня, современных инструментальных и программных средств
P4	Определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации мехатронных и робототехнических модулей, устройств и систем
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических средств и систем с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
P6	Интегрировать знания в области анализа, проектирования, производства и эксплуатации мехатронных и робототехнических устройств и систем со знаниями из смежных областей
P7	Понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в мехатронике и робототехнике и знать области их применения, в том числе в автоматизированных производствах.
P8	Эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий
P10	Проявлять широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, демонстрировать понимание вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Следовать кодексу профессиональной этики и ответственности и международным нормам инженерной деятельности
P12	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06 мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники  
 Уровень образования – бакалавриат  
 Период выполнения – осенний/весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.05.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.04.2020	Основная часть	60
04.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
13.05.2020	Социальная ответственность	20

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н., доцент		

##### Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)     (Дата)     (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8E62	Подковыров Илья Андреевич

Тема работы:

Разработка и реализация стенда физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	02.03.2020, 62-14/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.05.2020
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Стенд физического подобия должен быть использован для обучения студентов и исследования алгоритмов автоматического управления.</p> <p>Система должна обеспечивать наглядность переходных процессов, высоту мерных резервуаров 1 м, аналоговое измерение уровня, расхода, давления.</p> <p>Устройства защиты должны обеспечивать быстрый останов в случае перелива жидкости.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Аналитический обзор аналогов.</li> <li>2) Разработка структурной функциональной и принципиальных схем.</li> <li>3) Выбор датчиков, исполнительных механизмов и логических средств.</li> <li>4) Разработка сборочных чертеже стенда.</li> <li>5) Сборка и пусконаладка стенда.</li> <li>6) Разработка математической модели стенда</li> </ol>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Структурная схема, Функциональная схема, Принципиальные схемы, Чертежи компонентов стенда физического подобия, Структурная схема ПИД-регулятора.

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Матвиенко Владимир Владиславович, ассистент ООД ШБИП
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Нет	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Зарницын Александр Юрьевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е62	Подковыров Илья Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Е62	Подковырову Илье Андреевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Действующие ставки единого социального налога и НДС (см. МУ, ставка дисконтирования <math>i=0.1</math>)</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет величины НДС и цены результата ВКР</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Качественная и количественная характеристика экономического и др. видов эффекта от внедрения результата, определение эффективности внедрения</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>Матрица SWOT</i> <i>Альтернативы проведения НИ</i> <i>График проведения и бюджет НИ - <u>выполнить</u></i> <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ - <u>выполнить</u></i>
---

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к. э. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Е62	Подковыров Илья Андреевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Е62	Подковырову Илье Андреевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника

Тема ВКР:

Разработка и реализация стенда физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является стенд физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах. Рабочим местом разработчика является аудитория 101 корпуса №10 ТПУ.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).</p> <p>Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p> <p>Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.2.032-78.</p> <p>Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования ГОСТ 21889-76.</p> <p>Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 3. Органы управления ГОСТ EN 894-3-2012.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Поражение электрическим током.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Повышенный уровень ЭМП.</li> <li>— Недостаточная освещённость.</li> <li>— Отклонение показателей микроклимата.</li> </ul> Повышенный уровень шума.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	На атмосферу влияют вредные выбросы при производстве составных элементов стенда, также пагубное влияние на литосферу при их утилизации. Воздействие на гидросферу пренебрежимо мало.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	В аудиторном помещении, возможно, ЧС техногенного характера – пожар (возгорание).

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Е62	Подковыров Илья Андреевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 97 страниц, 40 рисунков, 31 таблица, список используемых источников содержит 33 наименования и приложение на 20 листах.

Ключевые слова: стенд физического подобия, математическая модель, цифровой двойник, гидродинамическая система, система управления.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и реализация стенда физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах.

В процессе выполнения работы был разработан и собран стенд физического подобия, помимо этого разработана полная математическая модель стенда.

Содержание	
Введение.....	13
1 Обзор аналогов стенда .....	14
1.1 Учебный стенд «Гидравлический объект».....	14
1.2 Лабораторный стенд «Система автоматического регулирования уровня».....	16
1.3 Учебный стенд «Контроль и измерение уровня жидкости».....	18
2 Разработка стенда и технологического описания системы.....	20
3 Разработка структурной, функциональной и принципиальных электрических схем.....	23
4 Выбор датчиков и исполнительных механизмов .....	25
4.1 Насос М1.....	25
4.2 Датчик давления Р11 .....	27
4.3 Датчик давления Р12 .....	28
4.4 Датчик уровня Р13 .....	29
4.5 Датчик расхода Р14 .....	30
4.6 Датчик уровня жидкости Р17-Р19.....	33
4.7 Регулируемые клапаны К-2 и К-3 .....	33
4.8 Электромагнитные клапаны К-1, К-4 и К-5.....	35
5 Подбор средств управления.....	36
5.1 Программируемый контроллер.....	36
5.2 Частотный преобразователь .....	38
5.3 Панель оператора.....	39
5.4 Источник питания.....	40
5.5 Электромеханические реле.....	42
5.6 Автоматические выключатели .....	42
6 Сборка и монтаж стенда.....	44
6.1 Разработка конструкторских чертежей.....	44
6.2 Расстановка элементов стенда .....	44
6.3 Сборка .....	46
6.4 Прием сигналов с датчиков.....	47
7 Панель оператора.....	48

8	ПИД – регулятор .....	50
9	Математическая модель стенда физического подобия.....	51
9.1	Математическая модель наполнения резервуара жидкостью.....	51
9.2	Математическая модель частотного преобразователя и насоса.....	52
9.3	Валидация разработанных моделей.....	54
9.4	Гидравлическое сопротивление трубопровода .....	57
9.5	Создание цифрового двойника стенда в MatLAB.....	63
10	Финансовый менеджмент, ресурс-эффективность и ресурсосбережение	68
10.1	Организация и планирование работ .....	68
10.2	Продолжительность этапов работ.....	69
10.3	Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	73
10.3.1	Расчет затрат на материалы .....	73
10.3.2	Расчет заработной платы.....	75
10.3.3	Расчет затрат на социальный налог .....	76
10.3.4	Расчет затрат на электроэнергию .....	76
10.3.5	Расчет амортизационных расходов .....	77
10.3.6	Расчет прочих расходов.....	78
10.4	Расчет общей себестоимости разработки .....	78
10.5	Расчет НДС.....	79
10.6	Цена разработки НИР.....	79
10.7	Расчет экономической эффективности проекта.....	79
	Вывод по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению .....	79
11	Социальная ответственность .....	80
11.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности... 80	
11.2.1	Отклонение показателей микроклимата.....	83
11.2.2	Превышение уровня шума .....	84
11.2.3	Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны.....	85

11.2.4Поражение электрическим током .....	86
11.2.5Повышенная напряженность электрического поля .....	87
11.3 Экологическая безопасность .....	88
11.4 Безопасность в ЧС .....	89
Вывод по социальной ответственности .....	91
Заключение .....	92
Conclusion.....	93
Список источников .....	94
Приложение 1 (Обязательное) Функциональные, принципиальные схемы и сборочные чертежи стенда.....	98
Приложение 2 (Обязательное) Программный код ПИД – регулятора и код обработки сигналов с датчиков .....	114

## **Введение**

В современных производствах существуют задачи хранения, транспортировки, дозировки и обработки различных жидкостей, для реализации подобных задач, необходимо управлять последовательно соединёнными резервуарами. На данном стенде мы реализуем имитацию двух последовательно соединённых резервуаров. Стенд позволит строить системы автоматического управления и исследовать гидравлические процессы, происходящие в таких системах. Помимо исследовательских возможностей, стенд применим для обучения студентов теории автоматического управления, программированию промышленных контроллеров и основам работы с датчиками. Так же стенд применим для прохождения курсов повышения квалификации рабочему персоналу обслуживающие подобные системы. Разрабатывается в рамках создания лаборатории автоматизации на базе ТПУ при поддержке Газпром.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и реализация стенда физического подобия по изучению алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- проведение обзора существующих аналогов;
- разработка структурной, функциональной и принципиальных схем;
- выбор датчиков, исполнительных элементов и средств управления;
- сборка и пусконаладка стенда;
- создание математических моделей резервуара, насоса и трубопровода;
- разработка цифрового двойника стенда.

Объектом разработки является стенд физического подобия гидравлической системы последовательно соединённых резервуаров.

Предметом разработки является математические модели стенда физического подобия.

## 1 Обзор аналогов стенда

Перед тем как приступить к проектированию, необходимо провести анализ уже существующих решений и выделить их плюсы и минусы. В данном разделе мы рассмотрим уже разработанные стенды, которые используют для исследования гидродинамических систем.

### 1.1 Учебный стенд «Гидравлический объект»

Учебный стенд «Гидравлический объект» [1] используется для построения учебных систем управления для различным моделей гидравлических и термодинамических процессов. Стенд позволяет подготавливать специалистов для работы в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, водоподготовке, энергетике, а также кадров для эксплуатации систем жизнеобеспечения. На рисунке 1 изображена схема стенда учебного стенда «Гидравлический объект» .

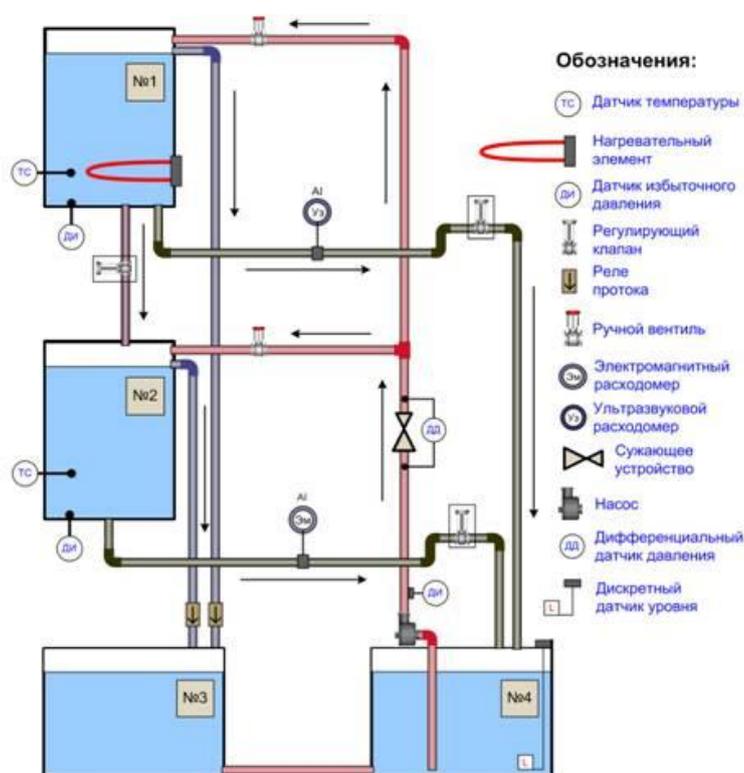


Рисунок 1 – Схема учебного стенда «Гидравлический объект»

Данный стенд состоит из трех резервуаров, №1 и №2 это контрольные емкости, №3 накопительная емкость. Для перекачивания жидкости из резервуара №3 установлен полупогружной насос с частотным приводом. Регулирование уровней в резервуарах происходит с помощью изменения расхода насоса и изменения пропускной способности трубопровода клапанами, исходя из показаний датчиков расхода и давления. Так же система оборудована нагревательными элементами и датчиками температуры, для исследования термодинамических процессов.

Стенд позволяет осуществлять контроль и измерение технологических параметров, управление исполнительными механизмами, а также строить контуры регулирования технологических параметров.

Достоинства:

- реализована защита от «сухого хода» насоса, с помощью датчика нижнего уровня резервуара №4;
- измерение расхода реализуется тремя методами, а именно ультразвуковым, электромагнитным и по методу переменного перепада давления;
- возможность реализации каскадного регулирования.

Недостатки:

- не реализована защита от переполнения резервуаров;
- не применяется уровнемер для измерения уровня. Так как стенд учебный, он должен содержать все виды измерения регулируемых параметров;
- возможность образования воздушных пробок в линиях трубопровода в случае перекрытия клапанов.

## 1.2 Лабораторный стенд «Система автоматического регулирования уровня»

Стенд представляет собой гидравлическую систему, которая позволяет осуществлять измерение уровня жидкости, с помощью различных приборов для проведения анализа метрологических характеристик, а также для исследования автоматической системы поддержания и регулирования уровня [2]. На рисунке 2 представлен лабораторный стенд «Система автоматического регулирования уровня».



Рисунок 2 – Стенд «Система автоматического регулирования уровня»

Лабораторный стенд состоит из двух резервуаров, а именно одного технологического объемом 60 литров и одного мерного объемом 20 л. Система оснащена электроприводом с частотным управлением, что позволяет изменять расход в трубопроводе, что позволяет плавно управлять скоростью наполнения резервуара. Измерение и регулирование выполняется с помощью четырех различных датчиков уровня, а именно ультразвукового, емкостного,

поплавкового гидростатического датчика давления. В комплекте с стендом идет также персональный компьютер и программное обеспечение для построения SCADA-систем.

На данном стенде предусмотрено выполнение лабораторных работ по снятию статических характеристик датчиков уровня, по основам программирования ПЛК, синтезу систем регулирования с помощью ПИД-регулирования, исследования систем автоматического регулирования уровня, а также построение SCADA-систем.

Достоинства:

- разнообразие методов измерения уровня;
- наличие индикаторов параметров на лабораторном столе.

Недостатки:

- малое число контуров регулирования;
- не возможность реализации каскадного регулирования, так как контрольный резервуар всего один;
- не возможность внесения возмущения за счет регулируемых клапанов;
- регулирование уровня только из законов гидростатики.

### 1.3 Учебный стенд «Контроль и измерение уровня жидкости»

Лабораторный стенд предназначен для изучения методов измерения уровня жидкости и технических средств контроля жидких сред [3]. Применение комплекса в учебном процессе позволяет познакомить студентов с методами контроля и измерения уровня, особенности их эксплуатации и монтажа.

Данный стенд состоит из приборного и гидротехнического модулей, а также из комплекса измерительных приборов и датчиков. Приборный модуль выполняет задачи отображения информации о протекании процессов в системе, на нем расположены регуляторы, индикаторы, приборы силовой и коммутационной аппаратуры. Гидротехнический модуль состоит из одной общей и четырех контрольных емкостей, а также из трубопровода с насосом. Для измерения уровня комплекс оборудован датчиками уровня, сигнализаторами уровня.

На рисунке 3 представлен учебный стенд «Контроль и измерение уровня жидкости».



Рисунок 3 – Учебный стенд «Контроль и измерение уровня жидкости»

Достоинства:

— вариативность в способах и методах измерения уровня.

Недостатки:

— отсутствие возможности построение SCADA-систем;

— отсутствие частотного управления насосом;

— регулирование уровня используя только законы гидростатики.

Для того что бы разрабатываемая система превосходила все аналоги необходимо учесть все минусы существующих систем и превратить их в плюсы.

## **2 Разработка стенда и технологического описания системы**

Разрабатываемый стенд предназначен для отработки и исследования алгоритмом теории автоматического управления в технологических процессах хранения, транспортировки и дозирования жидкости.

На основе анализа достоинств и недостатков уже существующих решений, приступим к разработке собственной системы, отвечающей требованиям технического задания.

Отличительными особенностями, которыми будет владеть проектируемый стенд, будет являться наличие двух контрольных резервуаров для исследования многоконтурных алгоритмов регулирования. Также необходимо предусмотреть возможность внесения возмущающего воздействия за счет регулируемых клапанов.

Лабораторный стенд должен обеспечивать выполнение следующих функций:

- регулирование основных параметров в соответствии задачам;
- отображать информацию о протекании технологического процесса;
- управление технологическим процессом с помощью панели оператора и персонального компьютера;
- обрабатывать мероприятия по противоаварийной защите.

Стенд (рисунок 4) состоит из двух последовательно соединённых резервуаров Р-1 и Р-2, одного общего резервуара Р-3, датчика давления Р11, датчика давления Р12, датчика расхода Р14, датчика уровня Р13, трех сигнальных датчиков уровня Р17...Р19, двух регулируемых клапанов К-1 и К-2, двух магнитных клапанов К-3 и К-4, насоса М1, а также соединительных труб и переходников.

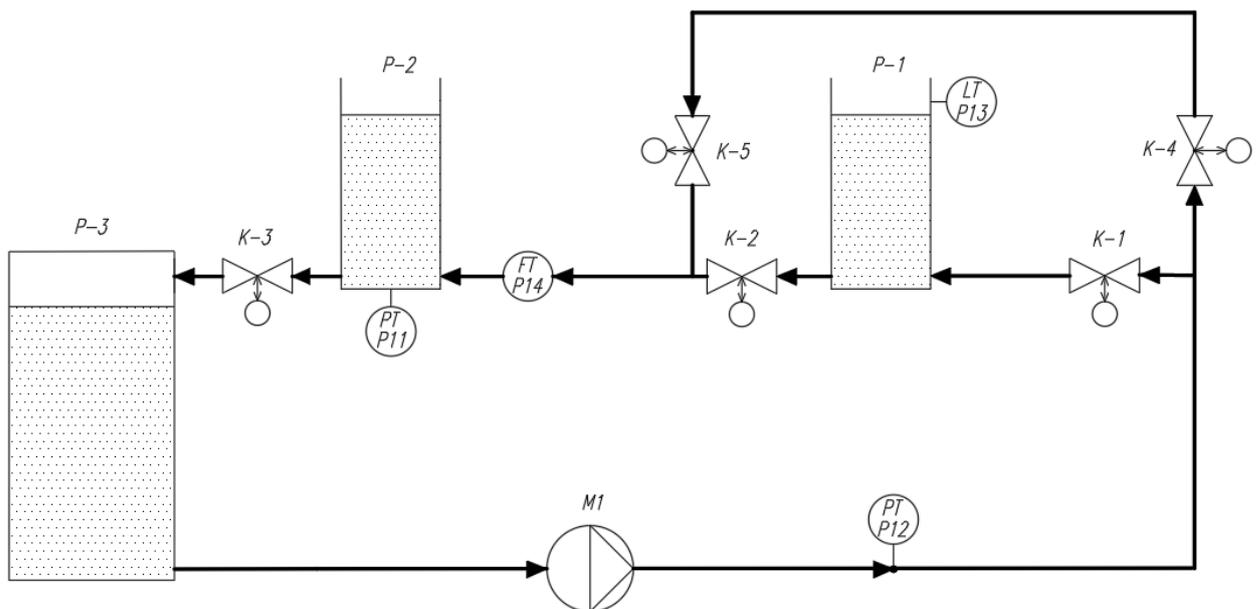


Рисунок 4 – Схема стенда

Насос М1 из резервуара Р-3 подает жидкость в систему. Насос управляется частотным преобразователем, что позволяет изменять расход жидкости на выходе из него во всем диапазоне технических характеристик.

Далее жидкость проходит через датчик давления Р12, который информирует систему о давлении в трубопроводе, регулируемый клапан К-1, который регулирует площадь поперечного сечения трубопровода подводящий в резервуар Р-1, электромагнитный клапаны К-4, служащий для защиты от «завоздушивания» обходного участка трубопровода, а также электромагнитный клапан К-5, который открывает линию трубопровода в обход резервуара Р-1, а также .

Далее жидкость поступает в резервуар Р-1, в котором имеется датчик уровня Р13, который передает величину уровня в аналоговом диапазоне.

Затем жидкость протекает через регулируемый клапан К-2, который регулирует площадь поперечного сечения трубопровода направленного в резервуар Р-2. Далее жидкость проходит через датчик расхода, который информирует о расходе на данном участке трубопровода.

На дне резервуара Р-2 установлен датчик давления.

На выходе резервуара Р-2 установлен регулирующийся клапан К-3.

Далее жидкость поступает в исходный резервуар Р-3. Все сигналы с датчиков приходят на ПЛК.

### 3 Разработка структурной, функциональной и принципиальных электрических схем

На основе технологического процесса был разработан комплект схем, а именно: структурная схема, функциональная схема, электрические принципиальные схемы и спецификация.

Для того что бы представить принцип работы системы управления, была реализована структурная схема АСУ ТП (рисунок 5), она определяет основные элементы системы, их назначение и взаимодействие между ними.

Обмен данными между панелью оператора, контроллером и математическими пакетами реализовано с помощью промышленного протокола Ethernet (OPC). Сигналы датчиков подключены к токовым клеммам аналоговых входов контроллера и передают сигнал в диапазоне (4-20) мА. Для управление дополнительными блоками аналоговых выходов используется стандарт RS485.

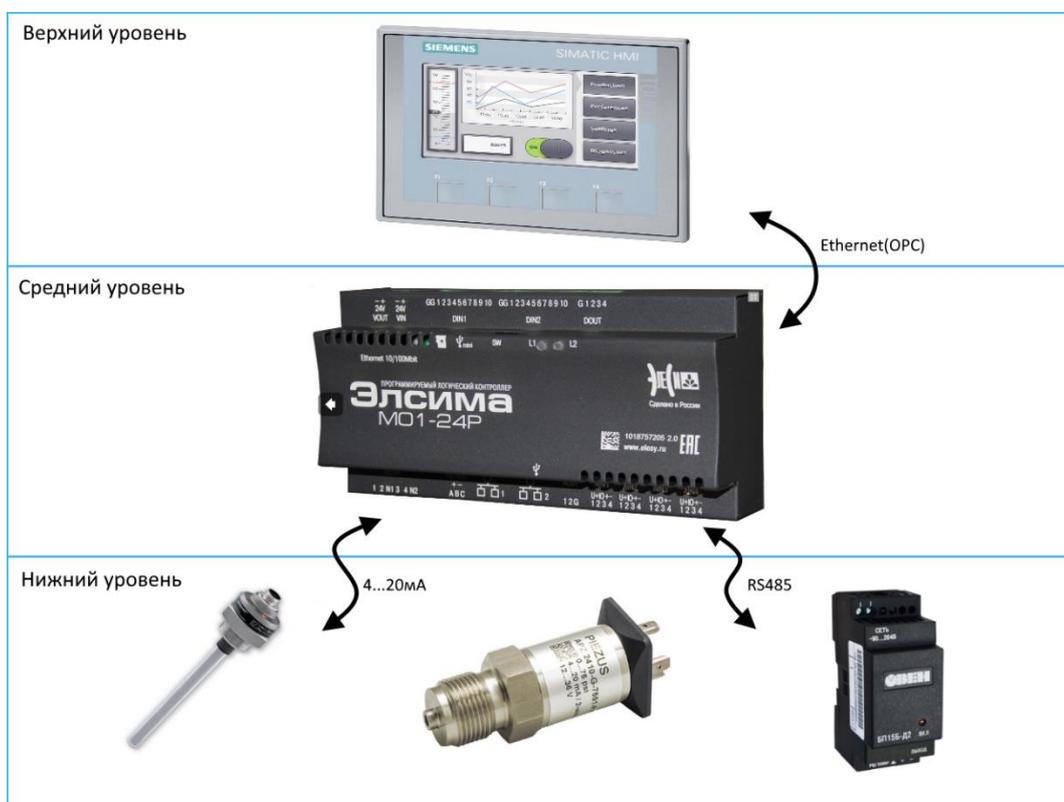


Рисунок 5 – Структурная схема АСУ ТП стенда

Функциональная схема автоматизации стенда изображена на чертежах ФЮРА.063000.004.Э2 и ФЮРА.063000.005.Э2. Наименование, назначение и типы исполнительных устройств, датчиков и приборов, изображенных на функциональной схеме, приведены в спецификации ФЮРА.063000.001.С, ФЮРА.063000.002.С и ФЮРА.063000.003.С. На данной схеме показано размещение основных узлов системы датчиков и исполнительных механизмов.

На принципиальной электрической схеме питания стенда ФЮРА.043446.006.Э3 изображены ввод питания в систему, основные подключения, а также схема защиты от перелива.

На принципиальной схеме ФЮРА.674230.007.Э3 изображено разветвление питания цепей постоянного тока.

На принципиальной электрической схеме ФЮРА.437100.008.Э3 изображено подключение частотного преобразователя и насоса.

Подключение датчиков и клапанов к программируемому логическому контроллеру изображено на принципиальных электрических схемах ФЮРА.656200.009.Э3 и ФЮРА.656200.0010.Э3.

Для того чтобы ознакомиться со всем комплектом схем данного проекта необходимо обратиться к приложению 1.

## 4 Выбор датчиков и исполнительных механизмов

### 4.1 Насос М1

Насос создает необходимый расход и скорость потока жидкости. Система, которую мы проектируем, должна обеспечивать наглядное и плавное изменение уровня жидкости в резервуарах, на рисунке 6 представлен чертеж резервуара с входным и выходным трубопроводом.

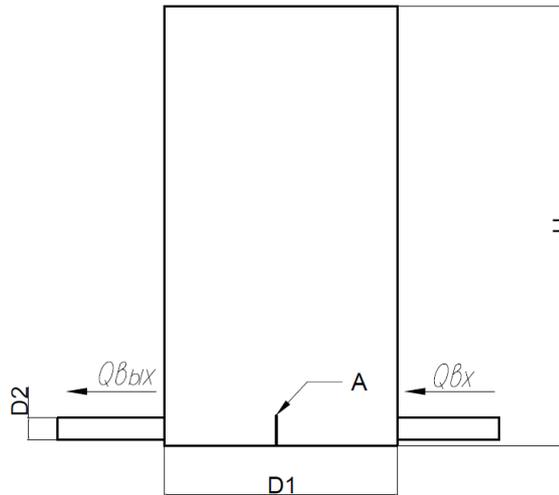


Рисунок 6 – Схема резервуара

где D1 – диаметр резервуара, 0.2м;

D2 – диаметр входного и выходного отверстия, 0.021 м;

Н – высота резервуара, 1 м.

Приемлемое минимальное время заполнения резервуара  $t = 17$  с.

Рассчитаем максимальный объемный расход, подаваемый насосом:

$$Q_{\text{вх}} = \frac{V_p}{t} \quad (1)$$

где  $V_p$  – объем резервуара;

Следовательно:

$$Q_{\text{вх}} = \frac{\pi * D_1^2 * H}{4 * t} = \frac{3,14 * 0,2^2 * 1}{4 * 17} = 0,00184 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}}\right). \quad (2)$$

Исходя из необходимого максимального расхода был выбран горизонтальный многоступенчатый центробежный насос СМФ4-20 (рисунок 7). Характеристики насоса СМФ4-20 представлены в таблице 1 [4].

Использование данного насоса накладывает ограничение на систему, так как максимальное давление, которое создает насос в случае перекрытия трубопровода, способно вывести из строя эти участки трубопровода. Недопустимо полное перекрытие участков трубопровода, если насос работает на высоких мощностях.



Рисунок 7 – Насос CMF4-20

Таблица 1 – Характеристики насоса CMF4-20

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Мощность	0.55 кВт
Номинальный расход	0,00111 $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
Максимальный расход	0,00194 $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
Напряжение питания	220 В
Максимальное давление	1 МПа
Ток потребления	< 2.5А

## 4.2 Датчик давления P11

Датчик давления P11 измеряет давление, создаваемое столбом жидкости и расположен в дне резервуара, следовательно рассчитаем диапазон измерения давления.

Давление, создаваемое столбом жидкости, выражается с помощью закона Паскаля [5]:

$$P_c = \rho * g * h = 997 * 9.81 * 1 = 9.81 \text{ кПа} \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$h$  – высота столба жидкости, м;

$g$  – ускорение свободного падения.

Исходя из расчетов был выбран преобразователь давления с диапазоном измерения APZ 3420 (рисунок 8), его характеристики представлены в таблице 2 [6].



Рисунок 8 – Датчик давления APZ 3420

Таблица 2 – Характеристики APZ 3420

Характеристика	Значение
Диапазон измерения	0...250 кПа
Погрешность	0.5%
Выходной сигнал	4...20мА
Ток потребления	< 25мА
Питание	10...30В

### 4.3 Датчик давления P12

Датчик давления должен обеспечивать измерение давление на участке трубопровода после насоса. В пункте 3.1 указано ограничение на перекрытие трубопровода при работе насоса на максимальных мощностях. Трубопровод будет составлен из полипропиленовых труб, максимальное давление, которое они выдерживают около 1 МПа. Следовательно, выберем датчик с диапазоном измерения (0-1) МПа, он обеспечивает контроль максимального критического давления. Также необходимо что бы датчик имел аналоговый токовый выходной сигнал (4-20) мА. Исходя из этих данных был подобран датчик избыточного давления APZ 2410 (рисунок 9). Характеристики датчика давления представлены в таблице 3 [7].



Рисунок 9 – Датчик давления APZ 2410

Таблица 3 – Характеристики APZ 2410

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Диапазон измерения	0...250 кПа
Погрешность	1 %
Выходной сигнал	4-20 мА, 0-10В
Ток потребления	Менее 26 мА
Питание	12...36В

#### **4.4 Датчик уровня P13**

Необходимо что бы датчик уровня имел аналоговый токовый выходной сигнал (4-20) мА и производил измерение на всю высоту резервуара в 1 м. Исходя из этих данных был подобран емкостной датчик уровня DLM-35-N-21 (рисунок 10), с длиной измерительного электрода 1м.

При помощи электрода устанавливаются изменения диэлектрической проницаемости жидкого вещества. Электроника преобразует показания емкости в электрический токовый сигнал (4-20) мА. Характеристики датчика уровня представлены в таблице 4 [8].



Рисунок 10 – Датчик уровня DLM-35-N-21

Таблица 4 – Датчик уровня DLM-35-N-21

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
-----------------------	-----------------

Питание	12...36В
Выходной сигнал	4...20мА
Длина щупа	1м
Ток потребления	< 20,5 мА

#### 4.5 Датчик расхода P14

Для того что бы выбрать датчик расхода необходимо рассчитать максимальную скорость жидкости через выходное сечение трубопровода из резервуара Р-1, также нужно предусмотреть тот случай когда используется обходная линия трубопровода (схема ФЮРА.063000.001.Э2), которая используется для того что бы включить в контур насос в обход резервуара Р-1, для регулирования потока в трубопроводе.

Для того чтобы входной поток жидкости не влиял на выходной, предусмотрена установка перегородки «А» (рисунок б).

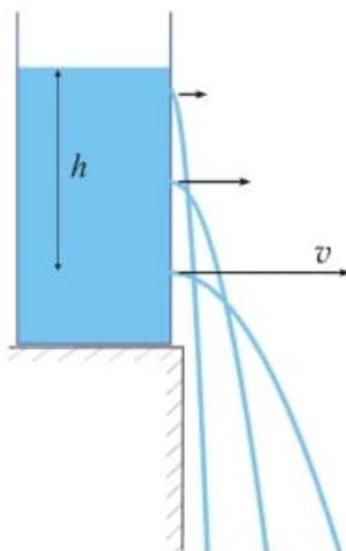


Рисунок 11 – Скорость вытекания жидкости из резервуара

Применим закон Торричелли – закон о взаимоотношении скорости выхода жидкости из отверстия в емкости и высоты жидкости над ним (рисунок 11) [9]. Этому соотношения можно добиться, если использовать уравнение

Бернулли между верхней частью емкости и выходным отверстием. Стоит отметить условиями применения закона Бернулли [10]:

1. Если соблюдаются условия плавно изменяющегося движения.
2. Если соблюдается условие неразрывности жидкости.

Потенциальная энергия в верхней части емкости трансформируется в кинетическую на выходе, запишем закон Бернулли для данного случая:

$$p_t + \frac{\rho * v_t^2}{2} + \rho * g * h_t = p_e + \frac{\rho * v_e^2}{2} + \rho * g * h_e \quad (4)$$

где  $t$  – индекс переменной для верхней части резервуара;

$e$  – индекс переменной для нижней части резервуара;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость вытекания жидкости, м/с;

$h$  – высота столба жидкости, м.

Если резервуар имеет связь с атмосферой, то ноль для потенциальной энергии пребывает в выходном отверстии, а скорость жидкости в верхней части резервуара в основном равна нулю:

$$\rho * g * h_t = \frac{\rho * v_e^2}{2} \quad (5)$$

Следовательно зависимость скорости потока от высоты столба жидкости запишется следующим образом:

$$v = \sqrt{2 * g * h} = \sqrt{2 * 9.81 * 1} = 4,32 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (6)$$

Данная скорость является максимально возможной скоростью истечения жидкости, так как не учитывается гидродинамическое сопротивление, а также наличие трубопровода и последующего резервуара Р-2 будет препятствовать вытеканию.

Для случая, когда используется обходная линия трубопровода, скорость потока, которую создает насос, рассчитаем на исходя из данных максимального расхода устройства (таблица 1):

$$Q = v * S \quad (7)$$

где  $Q$  – расход жидкости,  $\frac{м^3}{с}$ ;

$v$  – скорость потока,  $\frac{м}{с}$ ;

$S$  – площадь сечения трубопровода,  $м^2$ .

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q * 4}{\pi * D_2^2} = 5,6 \frac{м}{с} \quad (8)$$

где  $D_2$  – диаметр сечения трубопровода.

Исходя из расчетов был выбран расходомер лопастный EPR12 (рисунок 12). Характеристики расходомера представлены в таблице 5 [11].



Рисунок 12 – Расходомер EPR12

Таблица 5 – Характеристики EPR12

Характеристика	Значение
Питание	12...36В

Выходной сигнал	4...20мА
Диапазон скорости потока	0...10 м/с
Давление в трубопроводе	До 10 Бар
Типоразмер трубы	DN20
Погрешность	3%
Ток потребления	< 62,5 мА

#### 4.6 Датчик уровня жидкости P17-P19

Для обеспечения защиты от перелива жидкости в резервуарах, необходимо выбрать датчик уровня. Он должен прекращать работу системы при критическом уровне жидкости в любом из резервуаров. Исходя из этих соображений был выбран датчик уровня жидкости RSF73Y100RN (рисунок 13). Характеристики датчика RSF73Y100RN представлены в таблице 6 [12].



Рисунок 13 – Датчик уровня жидкости RSF73Y100RN

Таблица 6 – Характеристики RSF73Y100RN

Характеристика	Значение
Максимальный коммутируемый ток	0.6А
Коммутируемое напряжение	220В

#### 4.7 Регулируемые клапаны К-2 и К-3

В разрабатываемой системе предусмотрен механизм влияния на расход в трубопроводе по средствам изменения сечения трубопровода, с помощью регулируемых клапанов К-2 и К-3. Клапан должен обеспечивать как

частичное, так и полное перекрытие трубопровода. Исходя из диаметра трубопровода и сигнала управления был выбран шаровой латунный клапан с электроприводом DN20 G3/4" SMART QT730623 (рисунок 14). Характеристики клапана SMART QT730623 представлены в таблице 7 [13].



Рисунок 14 – Клапан SMART QT730623

Таблица 7. Характеристики SMART QT730623

Характеристика	Значение
Напряжение питания	24 В
Диаметр	20 мм
Максимальное давление	2 МПа

#### 4.8 Электромагнитные клапаны К-1, К-4 и К-5

Что бы управлять линией трубопровода в обход резервуара Р-1, необходимо установить два клапана, которые будут открывать данный участок, следовательно в начальном положении они должны быть закрыты. Так же для открытия прямой ветки так же используется клапан. Были выбраны три электромагнитных клапана SMART SG55335 DN20 G3/4" с ручным дублером (рисунок 15). Характеристики SMART SG55335 представлены в таблице 8 [14].



Рисунок 15 – Клапан SMART SG55335

Таблица 8 – Характеристики SMART SG55335

Характеристика	Значение
Напряжение питания	24 В
Начальное состояние	Закрит

## 5 Подбор средств управления

### 5.1 Программируемый контроллер

Для коммуникации всех компонентов и обеспечения логики работы системы необходимо выбрать программируемый логический контроллер. Его выбор обусловлен количеством дискретных/аналоговых входов-выходов, производительностью процессора, количеством подключаемых модулей, количеством и видом портов и протоколов.

В разрабатываемом стенде преобладают аналоговые сигналы, а именно 3 аналоговых выхода, которые управляют двумя клапанами и одним насосом, 4 аналоговых входа для приема токового сигнала с датчиков и также 1 дискретный вход, который информирует о срабатывании одного из датчиков критического уровня.

Взаимодействие с верхним уровнем обеспечивается по протоколу OPC DA, который описывает набор функций обмена данными в реальном времени с ПЛК. Так же необходимо наличие порта Ethernet. Исходя из данных был выбран программируемый логический контроллер Элсима М01 (рисунок 16). Характеристики Элсима М01 представлены в таблице 9 [15].



Рисунок 16 – ПЛК Элсима М01

Таблица 9 – Характеристики Элсима М01

Характеристика	Значение
Частота процессора	300МГц
Кол-во дискретных входов	20 шт
Кол-во аналоговых входов	4 шт
Кол-во аналоговых выходов	2 шт
Кол-во портов Ethernet	2 шт
Кол-во портов RS-485	1 шт
Напряжение питания	20...28В
Ток потребления	< 292 мА

Данный контроллер имеет не достаточное число аналоговых выходов, дополнительно был выбран модуль удаленного ввода/вывода аналоговых сигналов ТМА-301 (рисунок 17), который имеет один аналоговый выход и связывается с контроллером по интерфейсу RS-485. Характеристики ТМА-301 представлены в таблице 10 [16].



Рисунок 17 – Модуль удаленного ввода/вывода ТМА-301

Таблица 10 – Характеристики ТМА-301

Характеристика	Значение
Напряжение питания	18...36В
Кол-во аналоговых входов	3 шт
Кол-во аналоговых выходов	1 шт
Кол-во портов RS-485	1 шт
Ток потребления	< 166 мА

## 5.2 Частотный преобразователь

Для того что бы осуществлять плавный пуск и управление насосом необходимо подобрать частотный преобразователь, он обеспечит изменение частоты подаваемого напряжение на двигатель. Исходя из мощности насоса в 0.55кВт и напряжения питания был выбрать частотный преобразователь Innovert IDD751U21В (рисунок 18), его характеристики представлены в таблице 11 [17].



Рисунок 18 – Частотный преобразователь Innovert IDD751U21B

Таблица 11 – Характеристики Innovert IDD751U21B

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Мощность	0,75 кВт
Мощность подключаемых двигателей	0,35...0,75 кВт
Выходной ток	5А
Входное напряжение	220В
Выходное напряжение	220В
Ток потребления	< 7.5 А

### 5.3 Панель оператора

Для того что бы наглядно представлять информацию с датчиков, отображение архивов, управление технологическим процессом, необходимо использовать панель оператора. Исходя из соотношения цена/качество и простоты использования была выбрана панель оператора 10.1" Weintek MT8102iP (рисунок 19). Характеристики Weintek MT8102iP представлены в таблице 12 [18].



Рисунок 19 - Панель оператора 10.1" Weintek MT8102iP

Таблица 12 – Характеристики Weintek MT8102iP

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
-----------------------	-----------------

Диагональ	10.1"
Разрешение	1024x600
Напряжение питания	10...28 В
Ток потребления	0.65 А

#### 5.4 Источник питания

Источник питания обеспечивает преобразование переменного тока напряжением 220В в постоянный ток напряжением 24В, который необходим для питания элементов, представленных в таблице 13.

Для того что бы выбрать источник питания нужно рассчитать ток потребления элементов, которые данный прибор будет питать. В таблице 13 представлены элементы системы и их ток потребления.

Таблица 13 – Ток потребления элементов системы

Название устройства	Ток потребления
Контроллер Элсима M01	< 292мА
Модуль ввода/вывода TMA-301	<166мА
Расходомер EPR12	< 62,5мА
Датчик уровня DLM-35-N-20	< 20,5мА
Датчик давления APZ 2410	< 26мА
Датчик давления APZ 3420	< 26мА
Панель оператора 10.1" Weintek MT8102iP	0.65А

Сумма тока потребления всех элементов характеризует выбор источника питания. Суммарный ток потребления равен 1.243А, следовательно исходя из расчетов был выбран источник питания MEAN WELL MDR-40-24 (рисунок 20). Характеристики источника питания MEAN WELL MDR-40-24 представлены в таблице 14 [19].



Рисунок 20 – Источник питания MEAN WELL MDR-40-24

Таблица 14 – Характеристики MEAN WELL MDR-40-24

Характеристика	Значение
Напряжение питания	220 В
Мощность	40 Вт
Выходной ток	1,7 А
Выходное напряжение	24 В
Ток потребления	1,1 А

## 5.5 Электромеханические реле

Для защиты от протекания большого тока через контроллер, необходимо обеспечить гальваническую развязку дискретных сигналов. Исходя из схем А01.449.00.02-А.5 и А01.449.00.02-А.6 были выбраны одно электромеханическое реле на напряжение 220В с двумя контактами и два электромеханических реле на 24В.

## 5.6 Автоматические выключатели

В разрабатываемой системе необходимо обеспечить безопасность введения и обрыв питания всех устройств системы. Ввод питания должен обеспечивать протекание максимального тока потребления устройств напряжением питания 220В (таблица 15).

Таблица 15 – Ток потребления для устройств с напряжением 220В

Название устройства	Ток потребления
Частотный преобразователь	< 7,5А
Насос	< 2,5А
Электромеханическое реле	< 20мА
Датчик уровня (3шт)	< 1,8А
Источник питания	1.1 А

Суммарный ток потребления равен 12.92А. Автоматический выключатель ВА47-29 2Р ИЕК (MVA20-2-016-C) [20] обеспечивает номинальный ток 16А (рисунок 21).



Рисунок 21 – Автоматический выключатель ВА47-29 2Р 16А

Также необходимо обеспечивать подведение питания устройств отдельно, в соответствии с схемой А01.449.00.02-А.3. Для группы частотный преобразователь и насос был выбран автоматический выключатель ВА47-29 2Р IЕК (MVA20-2-010-C) [20] с номинальным током 10А. Для источника питания был выбран автоматический выключатель ВА47-29 2Р (MVA20-2-002-C) [20] с током 2А.

## **6 Сборка и монтаж стенда**

Следующим этапом разработки является физическая реализация стенда, она подразумевает непосредственно сборку, а также перед подготовкой составных элементов и учет всех рекомендаций по их установке.

### **6.1 Разработка конструкторских чертежей**

Для того чтобы приступить к этапу физической сборки стенда, необходимо разработать конструкцию стенда, а именно нужно рассмотреть вопросы: из чего и как изготовить резервуары; как устанавливать исполнительные элементы и датчики. Поэтому были разработаны конструкторские чертежи, которые представлены в приложении 2.

На чертеже ФЮРА.063000.011.ВО представлен общий вид стенда физического подобия, устройство его основных узлов и магистрали трубопроводов.

На чертежах ФЮРА.667477.012.СБ и ФЮРА.667477.013.СБ представлены резервуары Р-1 и Р-2, изготовленные из оргстекла, с необходимыми технологическими отверстиями.

На чертеже ФЮРА.667477.014.СБ представлены два дна в резервуары Р-1 и Р-2 и одна крышка для Р-1, необходимая для фиксации уровнемера.

На чертеже ФЮРА.667477.015.СБ представлены сборочные детали для сборки резервуара Р-3 с необходимыми технологическими отверстиями.

### **6.2 Расстановка элементов стенда**

Для того чтобы все измерения в системе были приближены к максимальной точности датчиков, которые производят эти измерения, необходимо предусмотреть их установку в соответствии с рекомендациями руководства по эксплуатации.

Расходомер Р14 был установлен так, что длина прямого участка перед ним составляла двадцать диаметров его измерительного отверстия [11]. Что

исключает искажения результатов измерения из-за пузырьков воздуха, которые создаются на поворотах трубопровода.

Для установки уровнемера Р13 была предусмотрена удерживающая крышка, которая позволяет закрепить датчик. Установка датчика исходя из руководства по эксплуатации [8], представлена на рисунке 22. Помимо основных рекомендаций по установке, необходимо предусмотреть то, что длина электрода уровнемера составляет 1 метр, поток жидкости внизу резервуара может создавать воздействие на изгиб измерительного элемента, поэтому датчик устанавливается так что бы исключить воздействие входного потока. Так же в следствии того, что резервуар изготовлен из оргстекла, необходимо установить вспомогательный электрод.

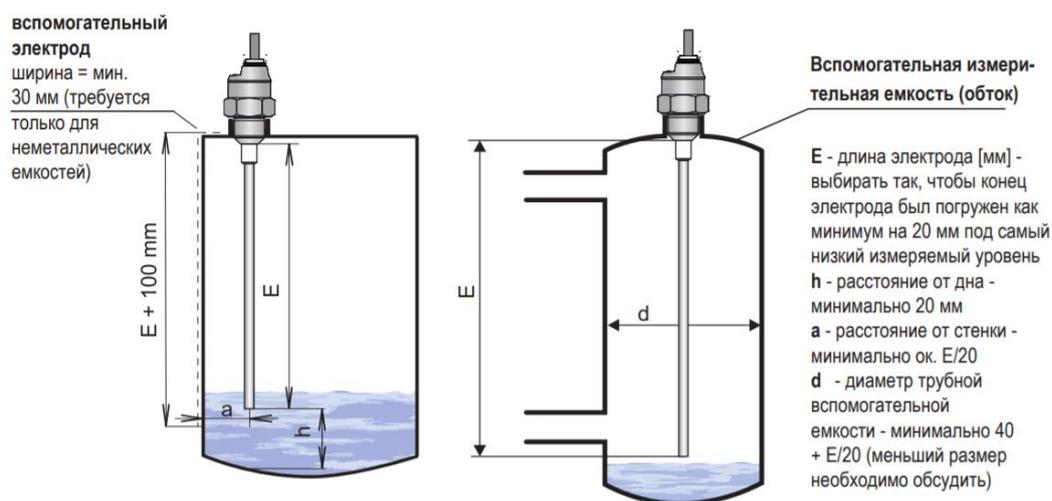


Рисунок 22 – Установка уровнемера

Датчик давления Р12 устанавливается на прямолинейном участке после насоса. Исходя из руководства по эксплуатации [6] правила установки датчиков давления заключаются в двух правилах: датчик давления устанавливается под углом 90 градусов к трубопроводу и максимально возможно близко к трубопроводу.

Датчик давления Р11 устанавливается в дно резервуара Р-2 резьбовым соединением, с учетом правил установки датчиков давления [7].

### 6.3 Сборка

На стадии сборки стенда физического подобия были задействованы двое человек. На первом этапе были склеены резервуары с помощью специального клея для оргстекла. Далее был собран стол размеры которого составили 1600\*680\*800. Затем были проведены работы по проведению трубопровода и установке датчиков с учетом решений, приведенных в разделе 8.2. Материал для трубопровода был выбран полипропилен, исходя из возможности подбора необходимого диаметра, соединительных деталей и удобства монтажа. Соединения труба-резервуар были дополнительно обработаны герметикам для того, чтобы избежать протечек. На следующем этапе были проведены линии электрических проводов к щиту управления, а также осуществлен монтаж соединительных клемм. На рисунках 23 и 24 представлен полностью готовый к использованию стенд физического подобия.

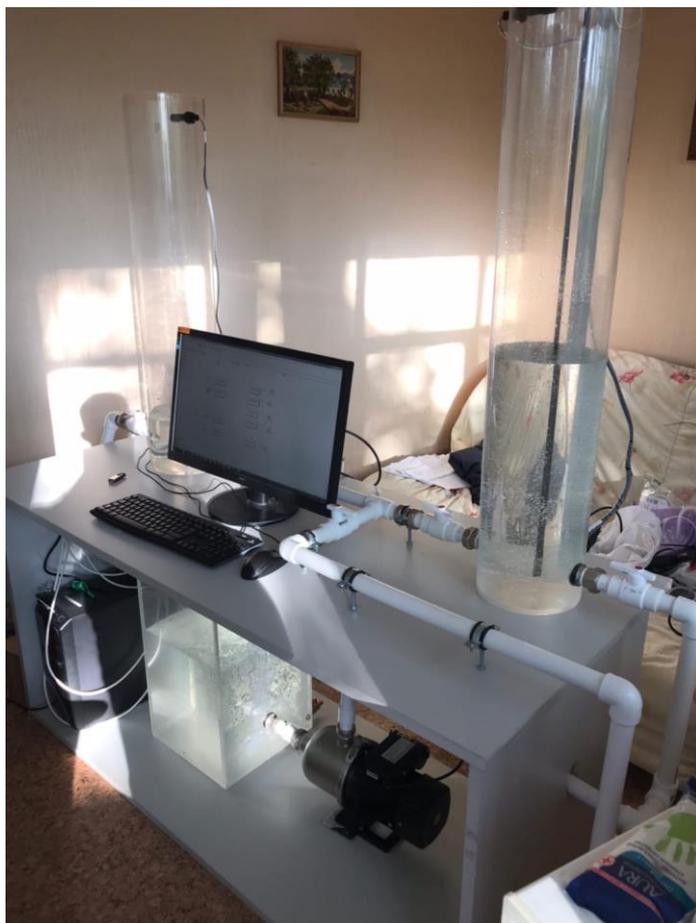


Рисунок 23 – Стенд физического подобия

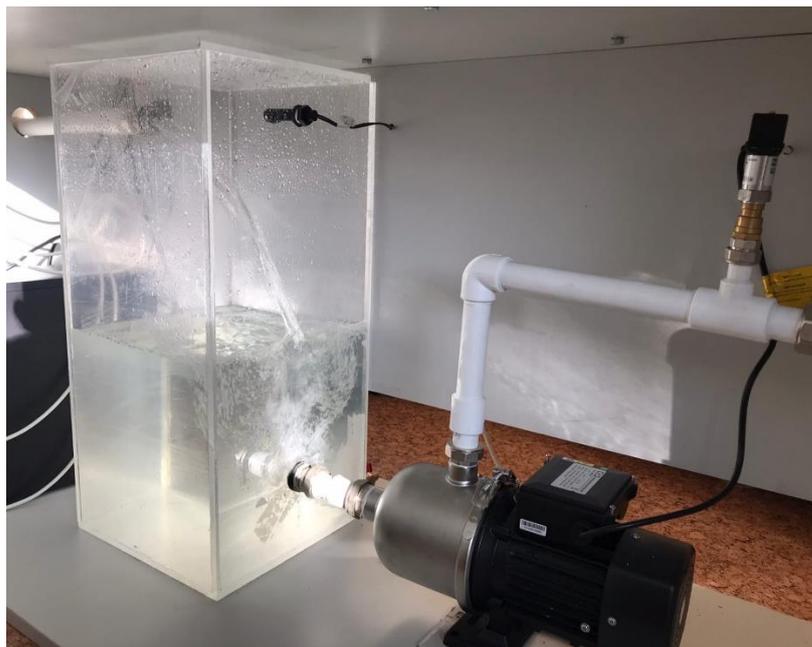


Рисунок 24 – Блок подачи и хранения жидкости

#### **6.4 Прием сигналов с датчиков**

Сигналы от аналоговых датчиков приходят на токовые входы контроллера (4-20) мА, необходимо преобразовать данные сигналы в удобный для использования вид. В приложении 3 описан блок преобразования сигналов с аналоговых датчиков.

## 7 Панель оператора

Панель оператора разрабатывается в программной среде TiaPortal рисунок 25, выполнена с учетом конструктивных особенностей системы. Она наглядно отображает все показания датчиков, работу исполнительных механизмов, так же предусмотрены поля задания управляющих сигналов. По кнопке  осуществляется переход на окно задания коэффициентов регулятора рисунок 26.

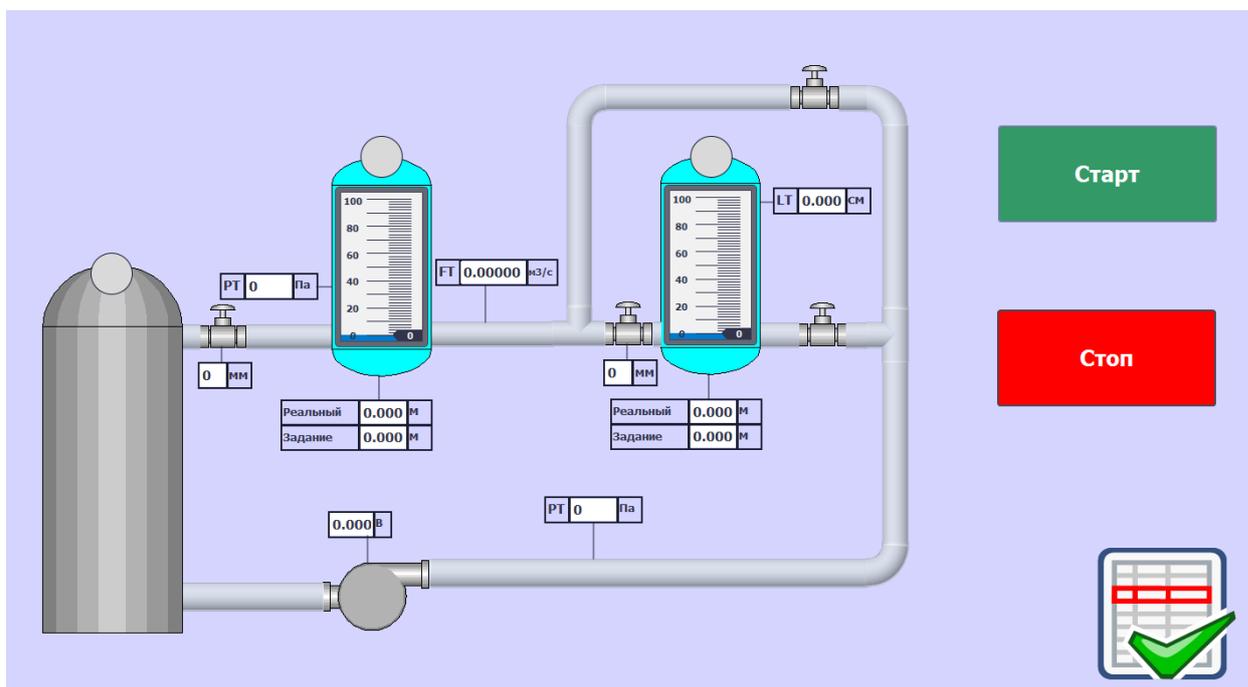


Рисунок 25 – Панель оператора

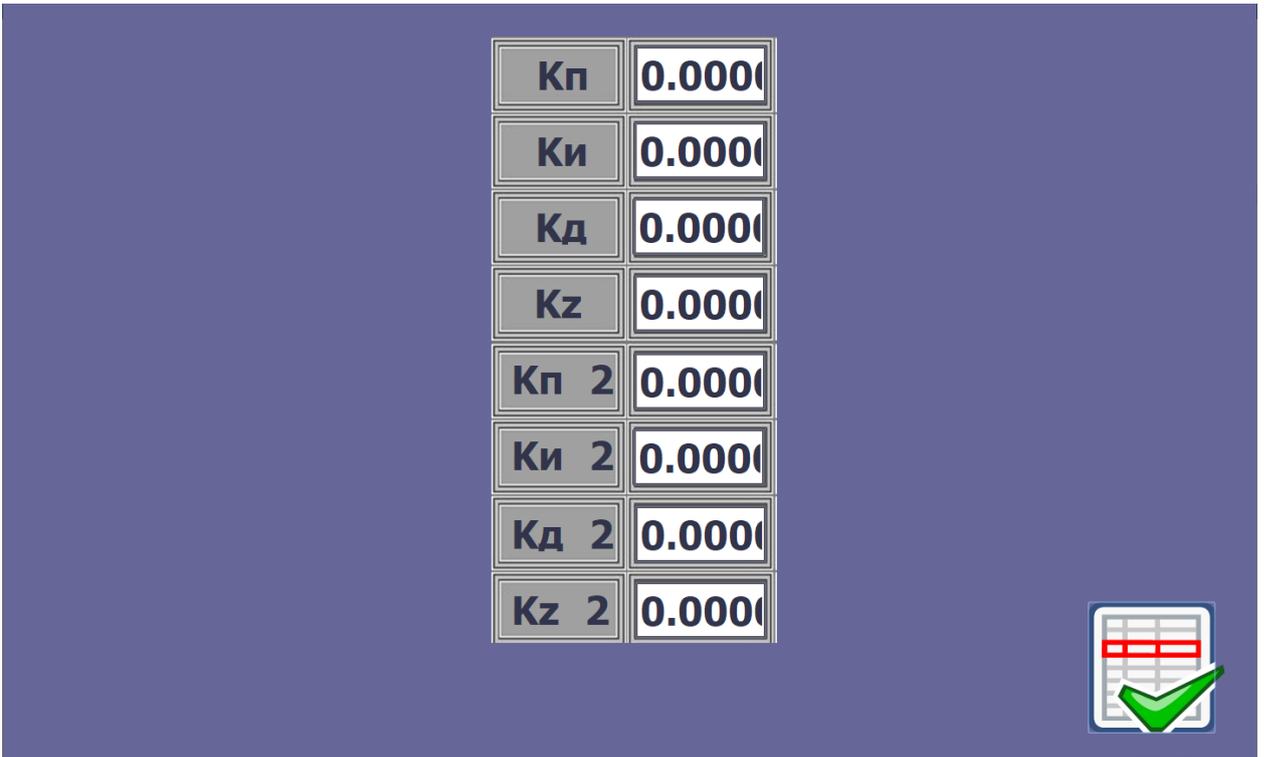


Рисунок 26 – Окно задания коэффициентов регулятора

## 8 ПИД – регулятор

Регулятор реализуется в программной среде CODESYS, которая применяется для программирования ПЛК компании ЭЛИСИ, структурная схема регулятора представлена на рисунке 27. С кодом ПИД – регулятора можно ознакомиться в приложение 3.

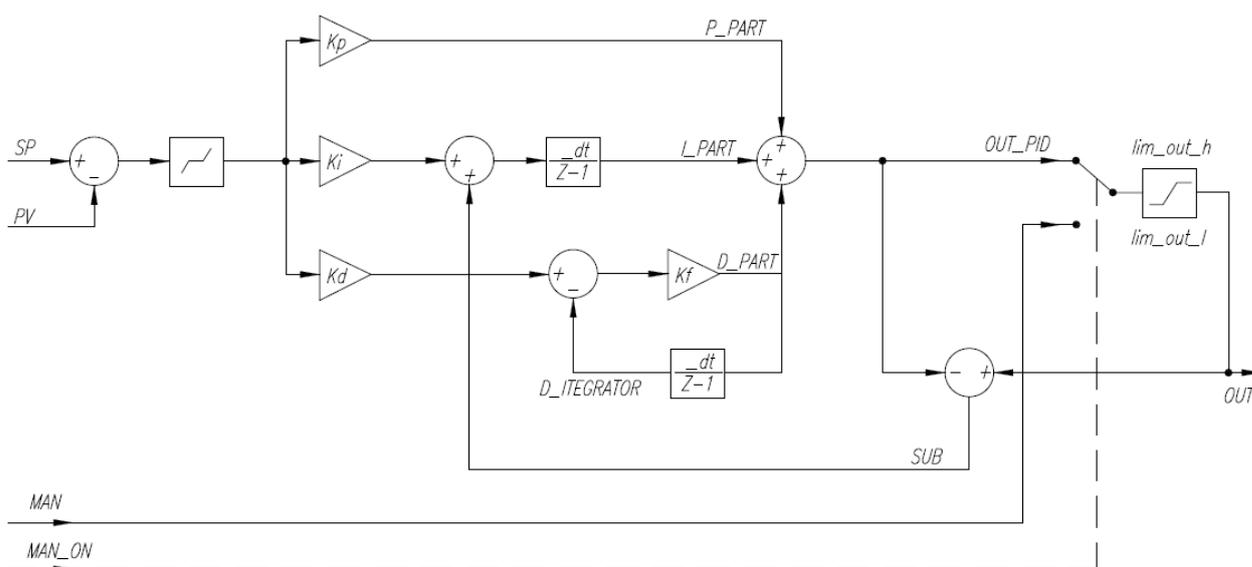


Рисунок 27 – Структурная схема ПИД-регулятора

ПИД-регулятор имеет защиту от переполнения интегральной составляющей методом обратного расчета, также возможность установки зоны нечувствительности к ошибке регулирования для устранения небольших колебаний регулятора в установившемся режиме работы. Помимо этого, есть возможность изменять амплитудное ограничение выходного сигнала для предотвращения подачи сигнала управления, который превышает физические возможности исполнительного механизма. Так же предусмотрено переключение режимов управления РУЧНОЙ/АВТОМАТ.

## 9 Математическая модель стенда физического подобия

### 9.1 Математическая модель наполнения резервуара жидкостью

Необходимо рассчитать математическую модель резервуара, которая будет отображать динамику системы. Так же с их помощью реализуется синтез регулятора.

Для этого предположим, что за время  $\Delta t$  объем жидкости, добавленной в резервуар насосом, равен  $Q_{\text{вх}} * \Delta t$ , а объем вытекшей из резервуара жидкости равен  $Q_{\text{вых}} * \Delta t$ . Учитывая площадь резервуара  $S_{\text{рез}}$ , получаем зависимость, отражающую изменение уровня жидкости в резервуаре (9):

$$\Delta h = \frac{(Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}})}{S_{\text{рез}}} * \Delta t \quad (9)$$

где  $h$  – уровень в жидкости в резервуаре;

$Q$  – расход жидкости.

Перейдя к пределу  $\Delta t \rightarrow 0$ , получаем дифференциальное уравнение (10):

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t)}{S_{\text{рез}}} \quad (10)$$

Найдем выходной объёмный расход (11):

$$Q_{\text{вых}} = V_{\text{вых}} * S_{\text{вых}} \quad (11)$$

где  $S_{\text{вых}}$  – площадь сечения выходной трубы;

$V_{\text{вых}}$  – скорость выходного потока.

Запишем формулу Торричелли из закона Бернулли [9] (12):

$$V = \sqrt{2gh} \quad (12)$$

Подставим уравнение (11) в (10) и раскроем  $S_{\text{вых}}$ , получим уравнение (13):

$$Q_{\text{вых}} = V_{\text{вых}} * S_{\text{вых}} = \sqrt{2gh} * \frac{\pi * d_{\text{вых}}^2}{4} \quad (13)$$

где  $d_{\text{вых}}$  – диаметр выходной трубы.

Подставим уравнения (13) в уравнение (10), получим (18):

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{S_{\text{рез}}} * (Q_{\text{вх}}(t) - \frac{\pi}{4} * V_{\text{вых}} * d_{\text{вых}}^2) \quad (14)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{S_{\text{рез}}} * Q_{\text{вх}}(t) - \frac{\pi}{4 * S_{\text{рез}}} * \frac{h * \sqrt{2g}}{2 * \sqrt{h_0}} * d_{\text{вых}}^2 \quad (15)$$

$$k_{\text{вх}} = \frac{1}{S_{\text{рез}}} \quad (16)$$

$$k_{\text{вых}} = \frac{\pi}{8 * S_{\text{рез}}} * \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{h_0}} * d_{\text{вых}}^2 \quad (17)$$

$$\frac{dh}{dt} + k_{\text{вых}} * h(t) = k_{\text{вх}} * Q_{\text{вх}}(t) \quad (18)$$

где  $k_{\text{вх}}$  – коэффициент усиления входа;

$k_{\text{вых}}$  – коэффициент усиления выхода.

Передаточная функция – это отношение изображений по Лапласу функции выхода к входу. Следовательно передаточная функция резервуара имеет вид уравнения (19):

$$W_{\text{рез}}(S) = \frac{Y_h(s)}{X_Q(s)} = \frac{k_{\text{вх}}}{S + k_{\text{вых}}} \quad (19)$$

## 9.2 Математическая модель частотного преобразователя и насоса

Для того что бы получить математическую модель, которая будет описывать свойства частотного преобразователя и насоса, необходимо получить переходную характеристику при подаче ступенчатого управляющего сигнала с амплитудой 10В при нулевых начальных условиях.

Данная задача была выполнена с помощью MatLab. Через OPC протокол в Simulink создавался одномерный массив сигналов датчика расхода. Затем с помощью идентификатора Matlab рисунок 28 была выполнена генерация переходной функции, на рисунке 29 представлены переходные характеристики сгенерированной в MatLAB (зеленая линия) и снятой с

реального объекта (черная линия), величина соответствия модели реальному объекту составила 97%.

Сгенерированная переходная функция изображена в формуле (20):

$$W_{рез}(s) = \frac{Y_Q(s)}{X_U(s)} = \frac{0.0001908}{s + 1.298} \quad (20)$$

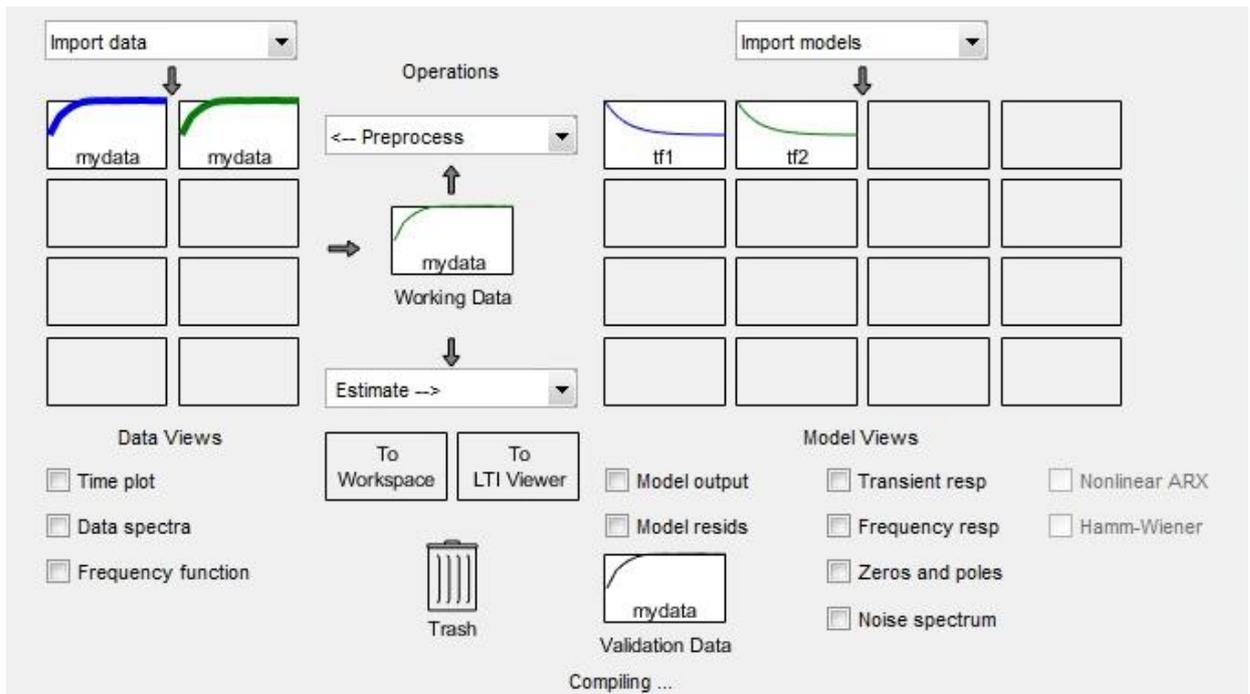


Рисунок 28 – Идентификатор

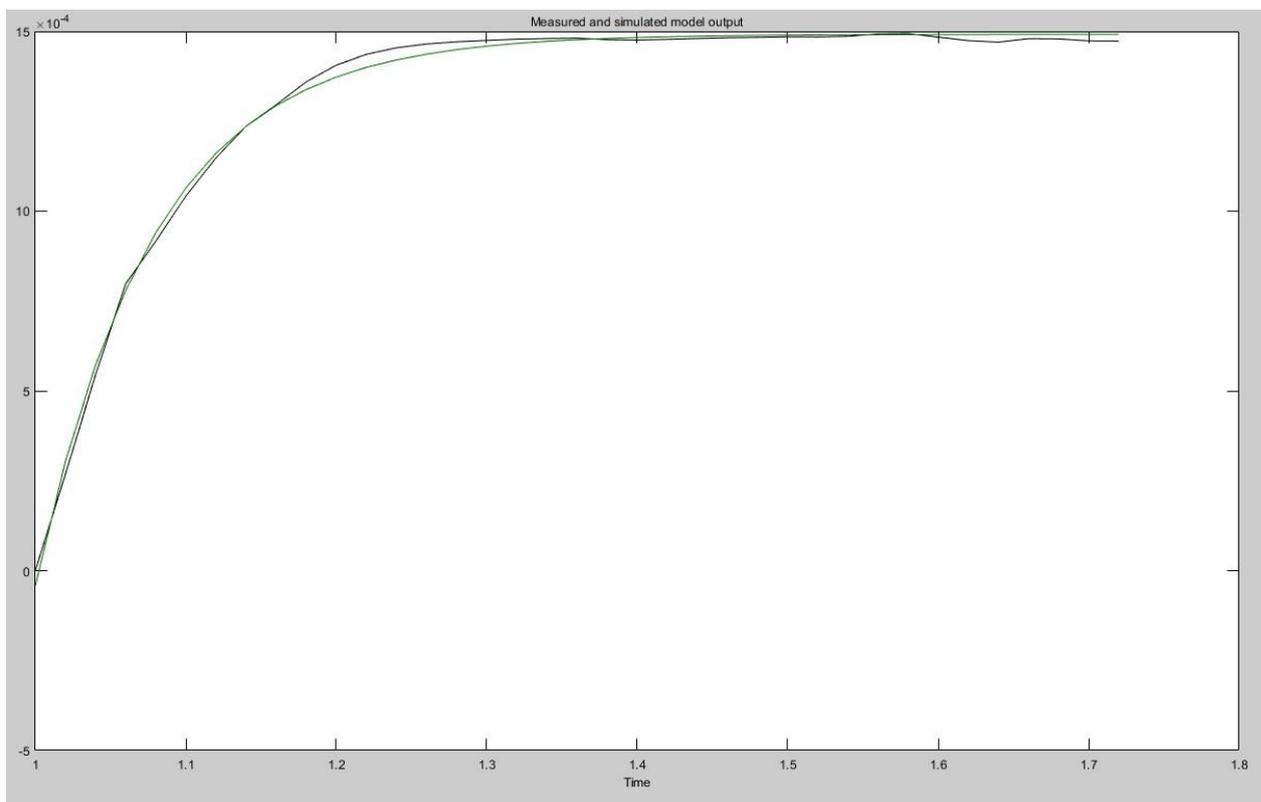


Рисунок 29 – Переходная функция насоса с частотным преобразователем

### 9.3 Валидация разработанных моделей

Для того что бы проверить точность разработанных моделей насоса и резервуара необходимо проверить их работу на реальном объекте.

Примеры задач автоматизации, решаемых на стенде:

1. Регулирование уровня в резервуаре Р-1 используя датчик уровня.
2. Регулирование уровня в резервуаре Р-2 используя датчик давления, установленный в дно резервуара.
3. Регулирование уровня в резервуаре Р-2, через изменение расхода жидкости датчиком.
4. Регулирование давление в трубопроводе, используя датчик давления.
5. Регулирование расхода в трубопроводе, используя датчик расхода.

б. Регулирование уровня в резервуаре Р-2, изменяя уровень в резервуаре Р-1.

Проведем сравнение переходных характеристик модели и реального объекта, настроив одноконтурную систему управления по датчику уровня на основе структурной схемы на рисунке 30.

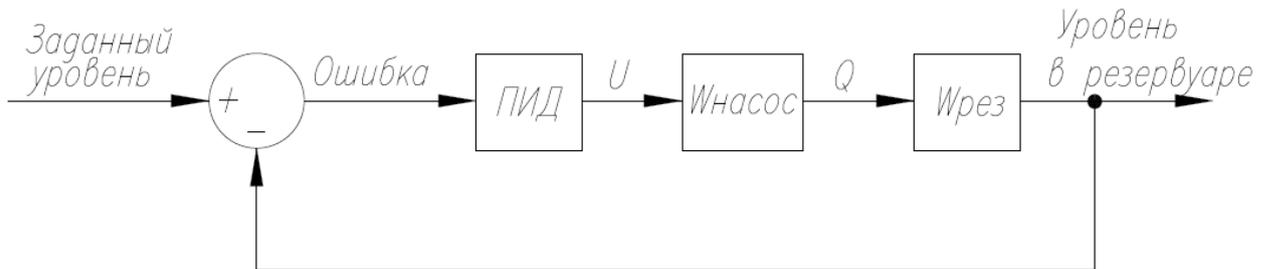


Рисунок 30 – Структурная схема управления

С помощью MatLAB был синтезирован ПИД – регулятор, коэффициенты которого представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Коэффициенты регулятора

Коэффициент	Значение
Кп	23,8
Ки	1,69
Кд	0
Кф	0

На рисунке 31 представлены два графика, линия синего цвета переходная характеристика математической модели, линия оранжевого цвета график переходной характеристики реального объекта.

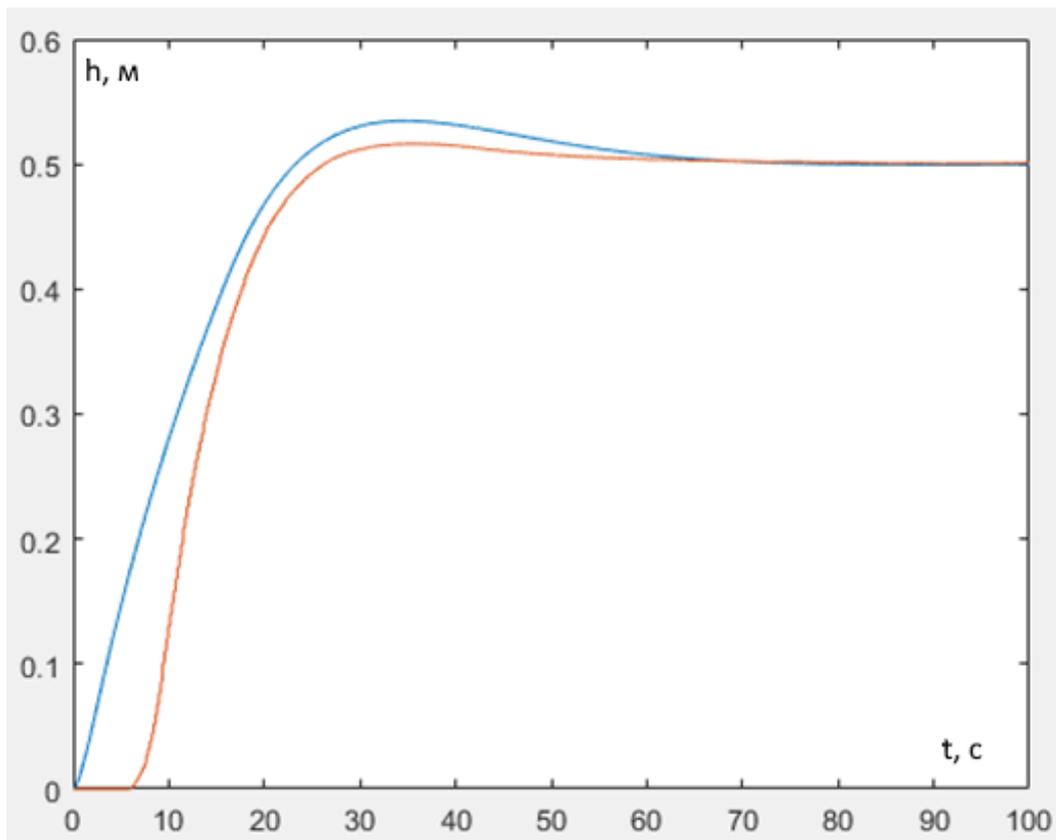


Рисунок 31 – Переходные характеристики модели(синий) и реального объекта(оранжевый)

Для того что бы количественно оценить величину соответствия модели реальному объекту используем две метрики. Первая это величина значения  $i$  безразмерная величина, изменяющаяся от нуля до бесконечности, она равна 13,3 (21). Вторая метрика — это значение  $r$  сравнивающая величину площади под графиками переходных процессов модели и реального объекта, она равна 5.62% (22), что так же говорит о высоком показателе точности соответствия разработанной модели реальному объекту.

$$i = \int E^2 = 13.3 \quad (21)$$

$$r = \frac{\int_0^t f_{\text{модель}}}{\int_0^t f_{\text{объект}}} * 100\% = 5.62\% \quad (22)$$

## 9.4 Гидравлическое сопротивление трубопровода

Для того что бы еще больше повысить точность математической модели стенда, введем влияние потерь гидравлического сопротивление на расход жидкости.

Гидравлическое сопротивление — это перепад давления, возникающий в трубопроводе. Различают гидростатическое сопротивление, которое зависит от высоты водяного столба жидкости, а также гидродинамическое, которое зависит от расхода жидкости в трубопроводе. В данном разделе приведены формулы для расчета гидравлического сопротивления и выполнен расчет максимально возможного сопротивления в разрабатываемой системе на каждом участке трубопровода [21].

Гидростатическое сопротивление появляется в следствии изменения высоты протекания жидкости. Возникает давление столба жидкости, которое препятствует протеканию жидкости. Зависимость величины гидростатического сопротивления от высоты представлена в уравнении (23).

$$P_{ст} = \frac{H * \rho}{1000} \quad (23)$$

где  $P_{ст}$  – потери при гидростатическом сопротивлении [м.в.ст.];

$H$  – высота столба жидкости;

$\rho$  – плотность жидкости.

В формулах, приведенных в данном разделе потери, измеряются в метрах водяного столба, для перевода в Паскаль, необходимо умножить найденное значение на 9806,62 (1 м.в.ст. = 9806,62 Па).

Гидродинамическое сопротивление появляется в следствии возникновения трения частиц жидкости о стенки трубопровода. Данный показатель зависит от скорости и вида течения жидкости. Расчетная формула представлена в уравнении (24).

$$P_{дин} = \gamma \frac{L * V^2}{2 * D * g} \quad (24)$$

где  $P_{дин}$  – потери при гидродинамическом сопротивлении, м.в.ст.;

$L$  – длина трубопровода, м;

$\gamma$  – коэффициент гидравлического трения;

$V$  – скорость потока жидкости,  $\frac{м}{с}$ ;

$D$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Коэффициент гидравлического трения  $\gamma$  зависит от вида течения жидкости, в таблице 17 представлены данные для расчета.

Таблица 17 – Расчет коэффициента гидравлического трения

Режим движения	Число Рейнольдса	Определение $\gamma$
Ламинарный	$Re < 2300$	$\gamma = \frac{64}{Re}$ или $\gamma = \frac{75}{Re}$
Турбулентный 1-я область	$4000 < Re < 10 * \frac{D}{\Delta_3}$	$\gamma = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$
Турбулентный 2-я область	$10 * \frac{D}{\Delta_3} < Re < 560 * \frac{D}{\Delta_3}$	$\gamma = 0.11 * \left( \frac{\Delta_3}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$
Турбулентный 3-я область	$Re < 560 * \frac{D}{\Delta_3}$	$\gamma = 0.11 * \left( \frac{\Delta_3}{D} \right)^{0.25}$

где  $\Delta_3$  – эквивалент шероховатости (для полипропилена 0,01 мм);

$Re$  – число Рейнольдса.

Число Рейнольдса рассчитывается по формуле 25:

$$Re = \frac{V * D}{\vartheta} \quad (25)$$

где  $\vartheta$  – кинематическая вязкость жидкости.

Так же необходимо учесть коэффициент местного сопротивления поворотов трубопровода уравнение 26, для поворота на 90 градусов  $C_{90} = 0,87$ .

$$P_{кмс} = C * \frac{V^2}{2 * g} \quad (26)$$

где  $C$  – общий КМС, получается сложением всех КМС ветви трубопровода.

Суммарные потери давления от гидравлического сопротивления получается сложением всех потерь, указанных выше.

Потери на гидравлическое сопротивление рассчитываются с учетом изменения расхода в трубопроводе на основе насосной характеристики, представленной на рисунке 32.

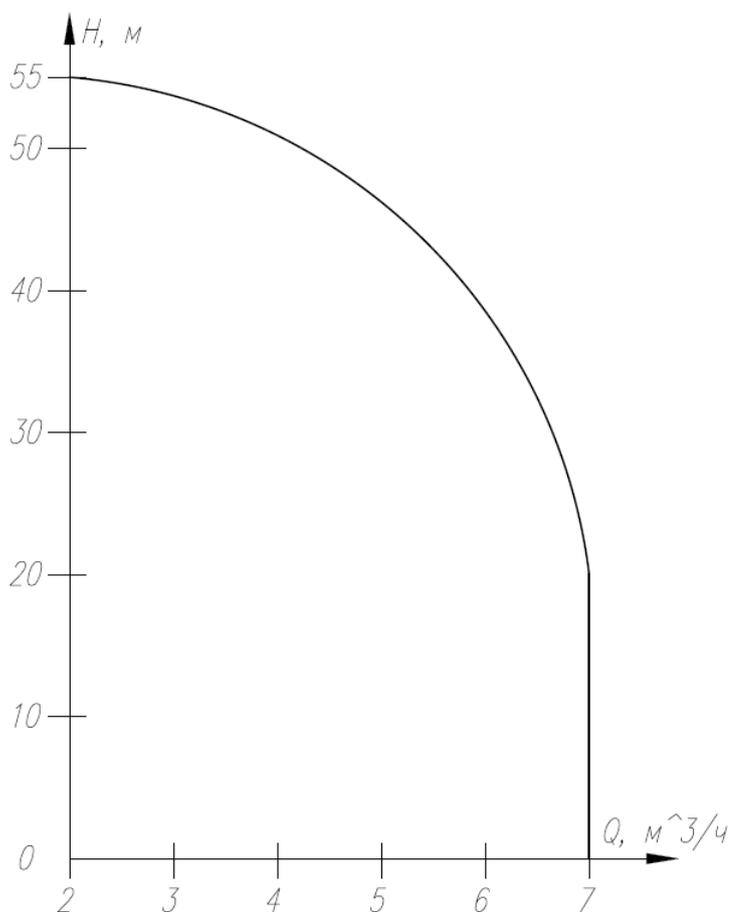


Рисунок 32 – Насосная характеристика

Для того что бы осуществить расчет максимально возможных потерь от гидравлического сопротивления, необходимо разделить трубопровод на ветви. Всего было выделено 4 ветки, которые используются в системе в зависимости от решаемой задачи, они приведены на рисунке 33.

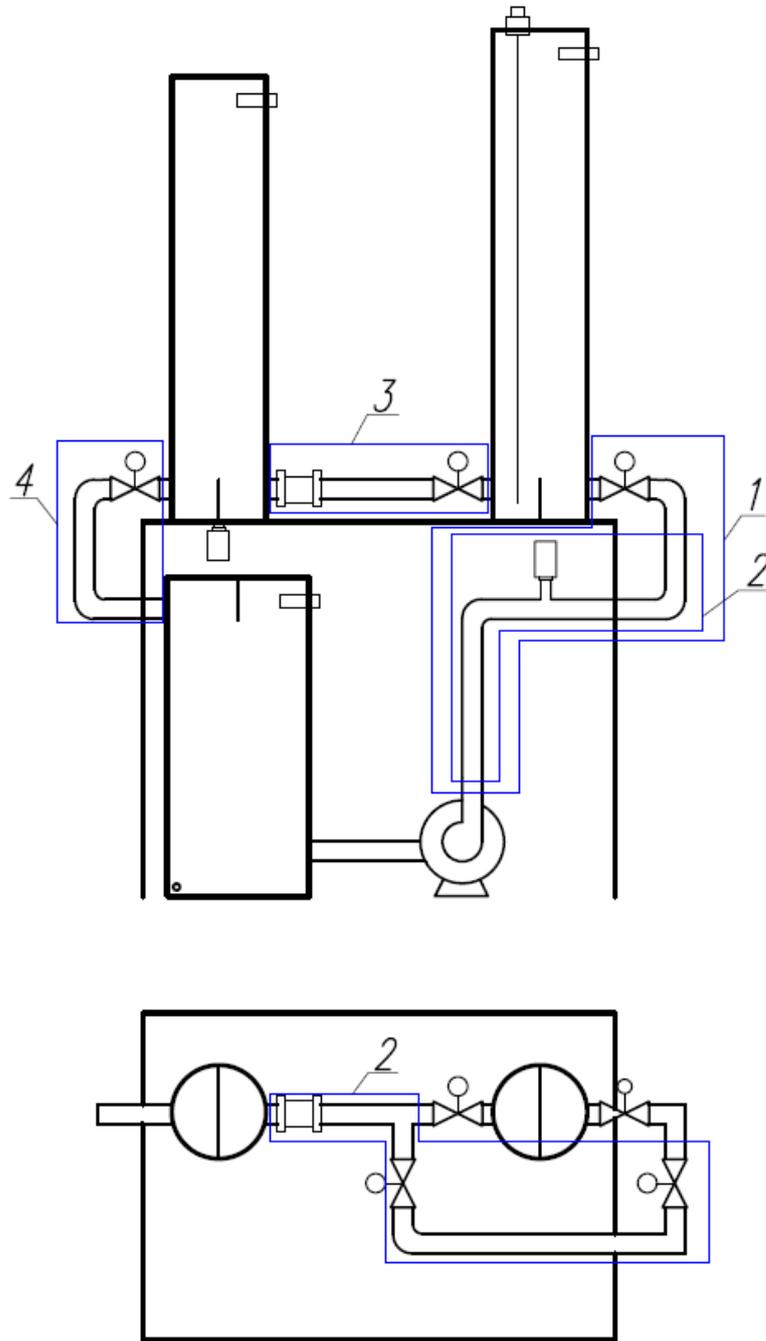


Рисунок 33 – Выделение ветвей трубопровода

**Ветвь 1:**

Расчет гидростатических потерь:

$$P_{ст} = \frac{H * \rho}{1000} = \frac{0.61 * 997}{1000} = 0.608 \text{ (м. в. ст)} = 5948 \text{ (Па)} \quad (27)$$

Расчет гидродинамических потерь:

$$Re = \frac{V * D}{\vartheta} = \frac{3.2 * 0.021}{0.9 * 10^{-6}} = 74815 \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.11 * \left( \frac{\Delta_3}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} = 0.11 * \left( \frac{0.00001}{0.021} + \frac{68}{74815} \right)^{0.25} = \\ &= 0.11 * (0.000476 + 0.00052)^{0.25} = 0.0212 \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{дин}} &= \gamma \frac{L * V^2}{2 * D * g} = 0.0212 \frac{1.6 * 3.2^2}{2 * 0.021 * 9.81} = \\ &= 0.77 \text{ (м. в. ст.)} = 7808 \text{ (Па)} \end{aligned} \quad (30)$$

Расчет потерь на местных сопротивлениях:

$$C = 4 * C_{90} = 4 * 0,84 = 3.36 \quad (31)$$

$$P_{\text{кмс}} = C * \frac{V^2}{2 * g} = 3.36 * \frac{3.2^2}{2 * 9.81} = 1.75 \text{ (м. в. ст.)} = 17289 \text{ (Па)} \quad (32)$$

Сумма потерь на гидравлическое сопротивление в ветви 1:

$$P_1 = 31045 \text{ (Па)} \quad (33)$$

## Ветвь 2:

Расчет гидростатических потерь:

$$P_{\text{ст}} = \frac{H * \rho}{1000} = \frac{0.7 * 997}{1000} = 0.608 \text{ (м. в. ст.)} = 5948 \text{ (Па)} \quad (34)$$

Расчет гидродинамических потерь:

$$Re = \frac{V * D}{\vartheta} = \frac{3.2 * 0.021}{0.9 * 10^{-6}} = 74815 \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.11 * \left( \frac{\Delta_3}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} = 0.11 * \left( \frac{0.00001}{0.021} + \frac{68}{74815} \right)^{0.25} = \\ &= 0.11 * (0.000476 + 0.00052)^{0.25} = 0.0212 \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{дин}} &= \gamma \frac{L * V^2}{2 * D * g} = 0.0212 \frac{3.24 * 3.2^2}{2 * 0.021 * 9.81} = \\ &= 1.62 \text{ (м. в. ст.)} = 14815 \text{ (Па)} \end{aligned} \quad (37)$$

Расчет потерь на местных сопротивлениях:

$$C = 6 * C_{90} = 6 * 0,84 = 5.04 \quad (38)$$

$$P_{\text{кмс}} = C * \frac{V^2}{2 * g} = 5.04 * \frac{3.2^2}{2 * 9.81} = 2.63 \text{ (м. в. ст.)} = 25795 \text{ (Па)} \quad (39)$$

Сумма потерь на гидравлическое сопротивление в ветви 2:

$$P_2 = 46558 \text{ (Па)} \quad (40)$$

### Ветвь 3:

На третьем участке потери на гидростатическое и местное сопротивление отсутствуют, так как трубопровод прямой и изменений высоты нет.

Расчет гидродинамических потерь:

$$Re = \frac{V * D}{\vartheta} = \frac{4.32 * 0.021}{0.9 * 10^{-6}} = 100800 \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.11 * \left( \frac{\Delta_э}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} = 0.11 * \left( \frac{0.00001}{0.021} + \frac{68}{100800} \right)^{0.25} = \\ &= 0.11 * (0.000476 + 0.000675)^{0.25} = 0.02 \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{дин}} &= \gamma \frac{L * V^2}{2 * D * g} = 0.02 \frac{0.86 * 4.32^2}{2 * 0.021 * 9.81} = \\ &= 0.779 \text{ (м. в. ст.)} = 7640 \text{ (Па)} \end{aligned} \quad (43)$$

Сумма потерь на гидравлическое сопротивление в ветви 3:

$$P_3 = 7640 \text{ (Па)} \quad (44)$$

### Ветвь 4:

Расчет гидростатических потерь:

$$P_{\text{ст}} = \frac{H * \rho}{1000} = \frac{0.19 * 997}{1000} = 0.189 \text{ (м. в. ст.)} = 1857 \text{ (Па)} \quad (45)$$

Расчет гидродинамических потерь:

$$Re = \frac{V * D}{\vartheta} = \frac{4.32 * 0.021}{0.9 * 10^{-6}} = 100800 \quad (46)$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.11 * \left( \frac{\Delta_э}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} = 0.11 * \left( \frac{0.00001}{0.021} + \frac{68}{100800} \right)^{0.25} = \\ &= 0.11 * (0.000476 + 0.000675)^{0.25} = 0.02 \end{aligned} \quad (47)$$

$$P_{\text{дин}} = \gamma \frac{L * V^2}{2 * D * g} = 0.02 \frac{0.94 * 4.32^2}{2 * 0.021 * 9.81} = \quad (48)$$

$$= 0.83 \text{ (м. в. ст.)} = 8142 \text{ (Па)}$$

Расчет потерь на местных сопротивлениях:

$$C = 2 * C_{90} = 2 * 0,84 = 1.68 \quad (49)$$

$$P_{\text{кмс}} = C * \frac{V^2}{2 * g} = 1.68 * \frac{4.32^2}{2 * 9.81} = 1.6 \text{ (м. в. ст.)} = 15671 \text{ (Па)} \quad (50)$$

Сумма потерь на гидравлическое сопротивление в ветви 4:

$$P_4 = 25670 \text{ (Па)} \quad (51)$$

## 9.5 Создание цифрового двойника стенда в MatLAB

Для создания и исследования алгоритмов автоматического управления является удобным применение цифрового двойника стенда в целях получения настроечных характеристик системы для многоконтурных систем управления.

Преимущества использования цифрового двойника по сравнению с обособленными контурами заключается в том, что математическая модель стенда наиболее точно отображает все необходимые показатели системы, так же она облегчается настройку новых контуров регулирования.

Разработка цифрового двойника заключается в применении и установки взаимодействия между математическими моделями насоса с частотным преобразователем, резервуаров и гидравлического сопротивления трубопровода.

Реализация цифрового двойника выполнена в программном пакете Simulink от MatLAB. Simulink позволяет с помощью блоков составлять структурные схемы управления и моделировать системы.

На рисунке 34 представлен общий вид цифрового двойника с входными сигналами управления и выходными информационными сигналами. На рисунках 35 – 39 представлены основные компоненты цифрового двойника стенда физического подобия.

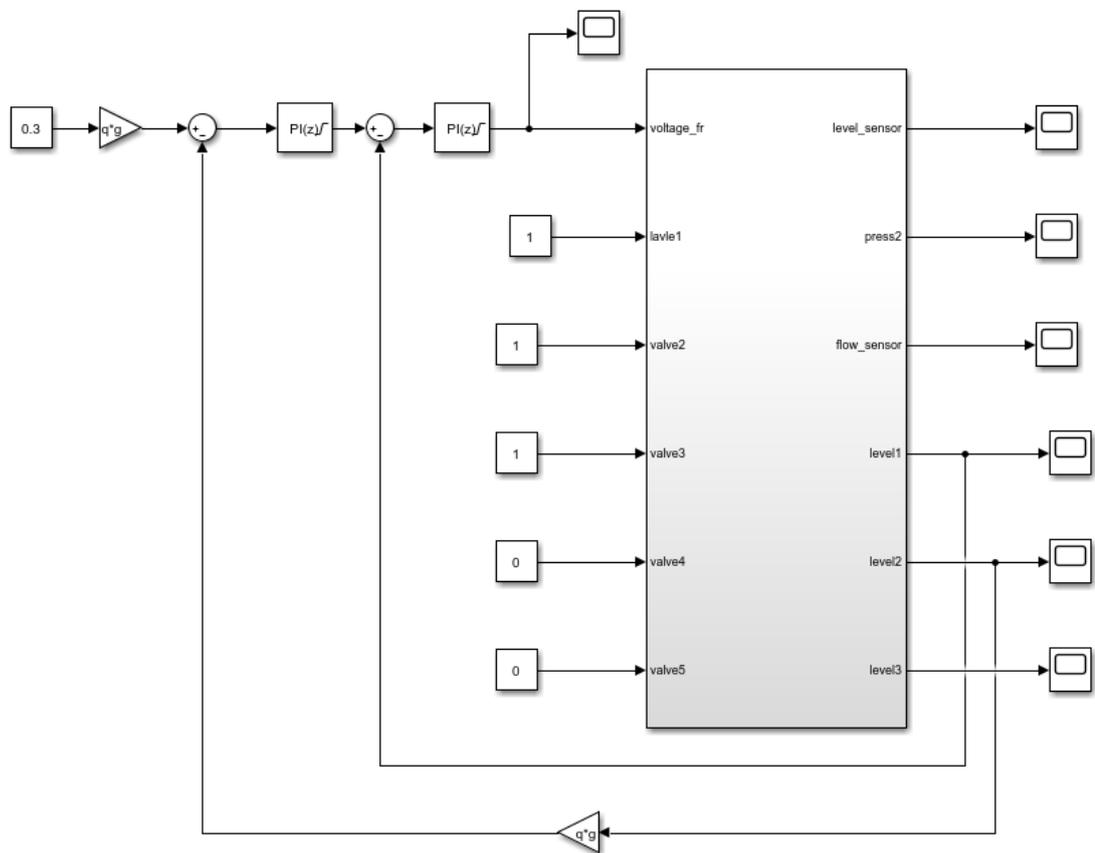


Рисунок 34 – Общий вид цифрового двойника в SF

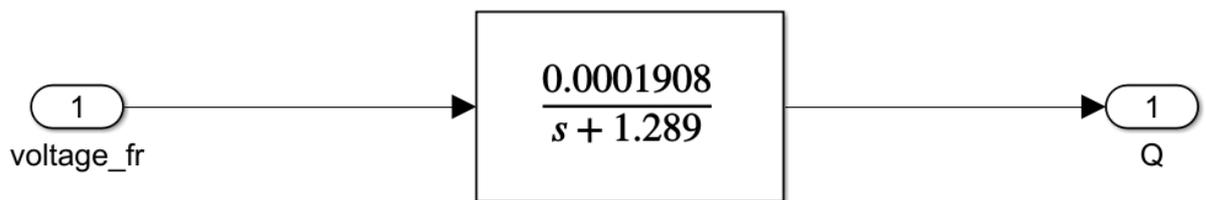


Рисунок 35 – Модель частотного преобразователя и насоса

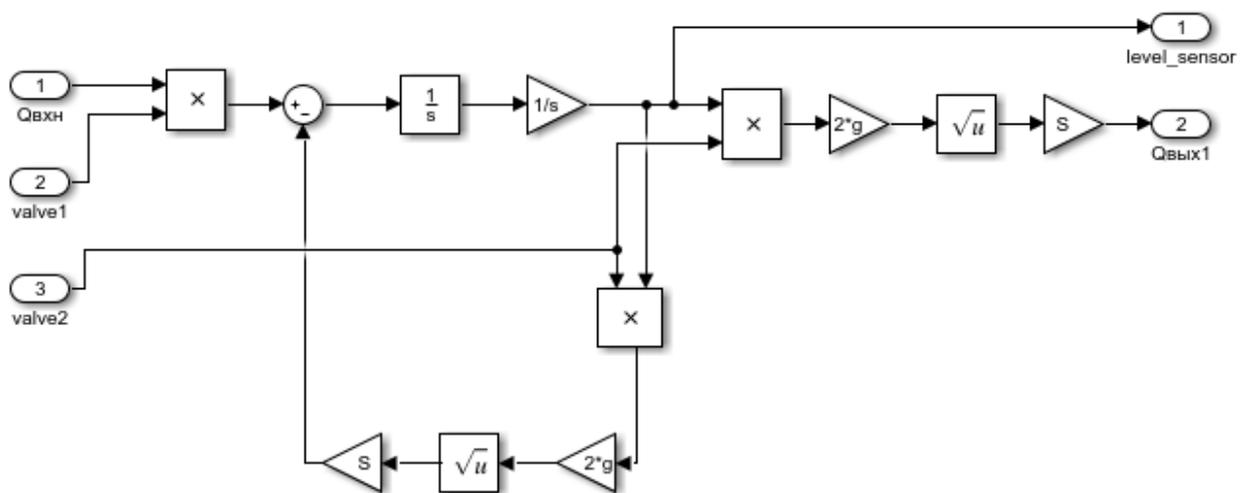


Рисунок 36 – Модель резервуара P-1

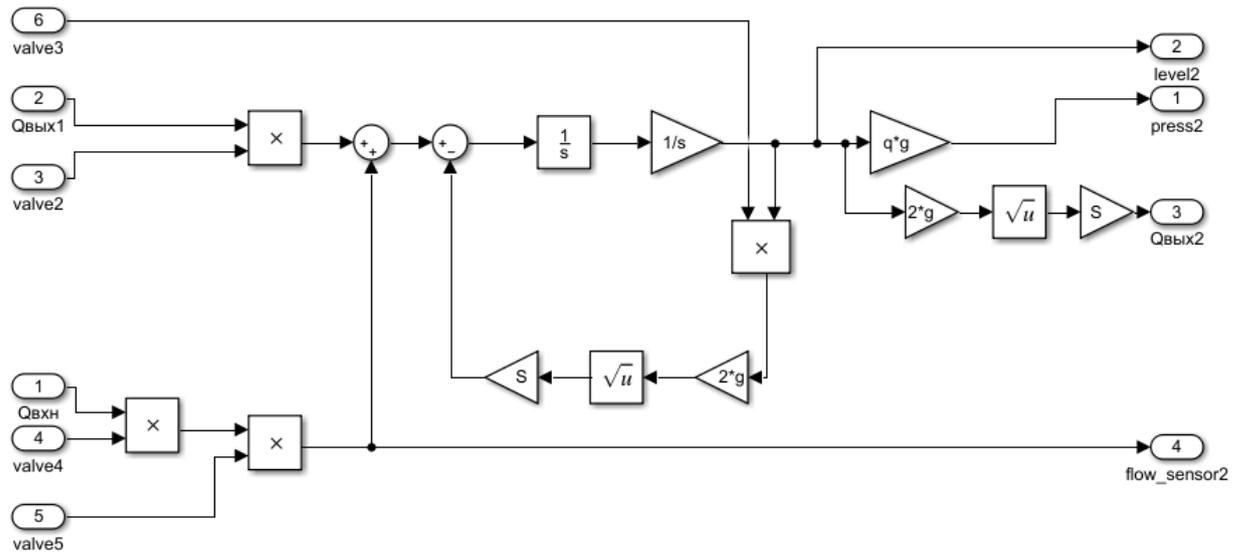


Рисунок 37 – Модель резервуара Р-2

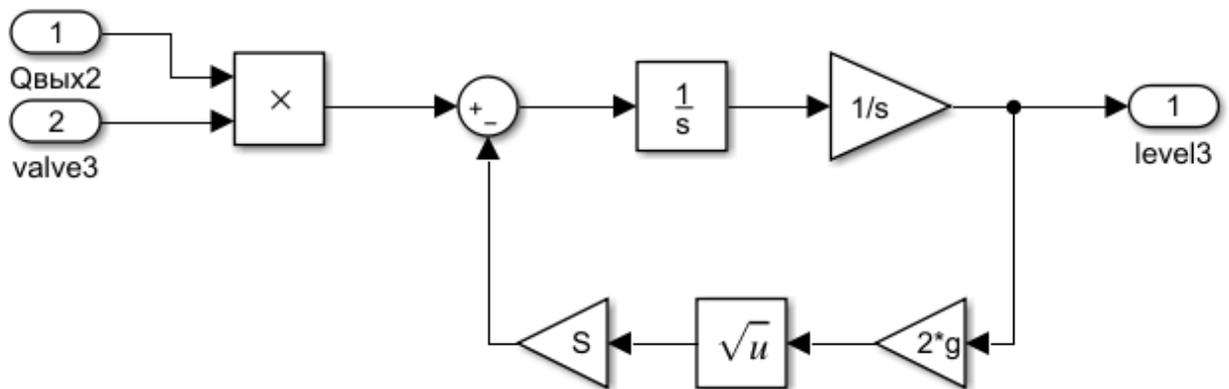


Рисунок 38 – Модель резервуара Р-3

На основе цифрового двойника стенда проведем настройку двух контурной системы управления. Коэффициенты регулятора для системы, представленной на рисунке 39 представлены в таблице 19.

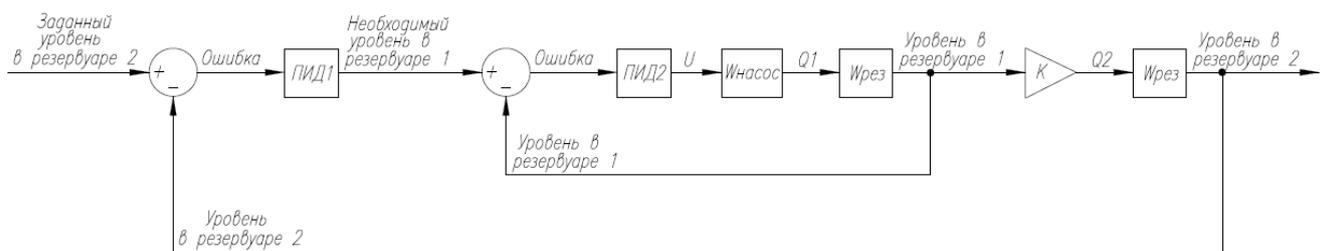


Рисунок 39 – Структурная схема управления

Таблица 19 – Коэффициенты регулятора

Коэффициент	Значение
Кп	0,000095
Ки	0,0000097
Кд	0
Кф	0
Кп_1	24,48
Ки_1	2,534
Кд_1	0
Кф_1	0

На рисунке 40 представлены графики переходных характеристик реального объекта оранжевая линия и модели синяя линия, удержания уровня высотой 30 сантиметров. На основе величины метрики  $i$  равной 2.22 и метрики  $r$  равной 1.68%, можно сделать вывод что получившаяся математическая модель системы имеет высокие показатели соответствия реальному объекту.

$$i = \int E^2 = 2.22 \quad (52)$$

$$r = \frac{\int_0^t f_{\text{модель}}}{\int_0^t f_{\text{объект}}} * 100\% = 1.68\% \quad (53)$$

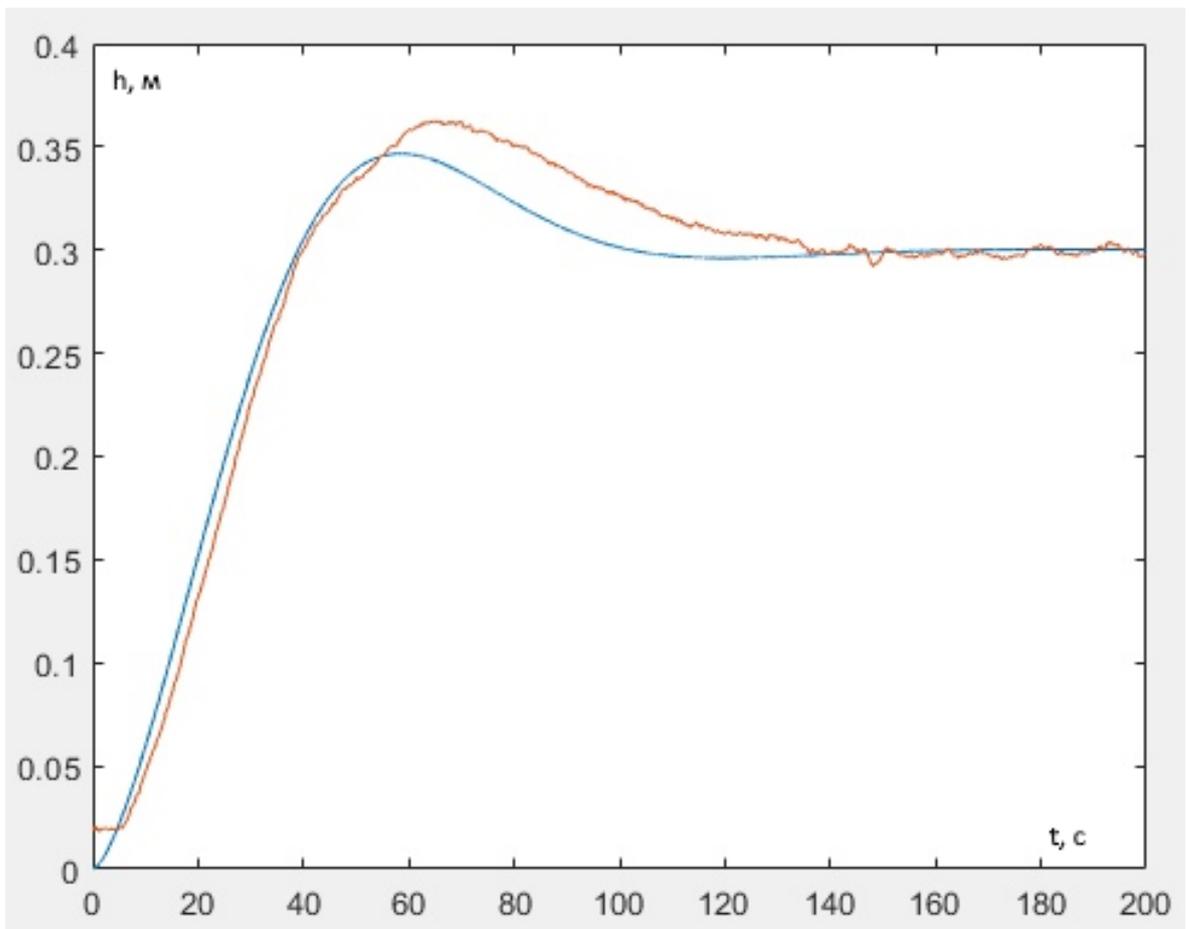


Рисунок 40 – Переходные характеристики двухконтурной системы, уровень в резервуаре 30 см

## **10 Финансовый менеджмент, ресурс-эффективность и ресурсосбережение**

В данном проекте был разработан стенд физического подобия по исследованию алгоритмов автоматического управления в гидродинамических системах, который позволит обучать студентов Теории автоматического управления с помощью лабораторных работ, так же сотрудники промышленных производственных компаний смогут проходить курсы повышения квалификации еще более эффективно. Помимо этого, стенд предполагает проведение исследовательской деятельности для совершенствования алгоритмов автоматического управления в процессах хранения и транспортировки промышленных жидкостей.

В настоящее время перспективность научной разработки определяется главным образом коммерческой ценностью разработки. Высокая коммерческая ценность разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

В данном разделе будет проведен комплексный анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Оценим полные денежные затраты на разработку и реализацию.

### **10.1 Организация и планирование работ**

Выполнением данного проекта занимались двое человек, это научный руководитель и студент. Для каждого вида запланированных работ назначается один или оба участника группы разработчиков.

В этом пункте составим полный перечень проводимых работ, определим их исполнителей и рациональную продолжительность. В таблице 20 представлены результаты выполнения данного пункта.

Таблица 20 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 50%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Проведение сравнительного анализа существующих стендов	И	ИП – 100%
Разработка комплекта схем автоматики	И	И – 100%
Выбор датчиков и исполнительных механизмов	И	И – 100%
Выбор средств управления	И	И – 100%
Разработка математического обеспечения	И	И – 100%
Составление презентации	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

## 10.2 Продолжительность этапов работ

Для расчета продолжительности этапов работ воспользуемся опытно-статическим методом, в котором расчет ожидаемого времени работ осуществляется на основе минимального и максимального времени выполнения работ:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5} \quad (54)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.

Рассчитаем длительность этапов в рабочих днях и в календарных днях. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (55)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ ( $K_{ВН} = 1$ );

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{Д} = 1,2$ );

$T_{РД}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях.

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К} \quad (56)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитаем по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (57)$$

где  $T_{КАЛ}$  – календарные дни ( $T_{КАЛ} = 365$ );

$T_{ВД}$  – выходные дни ( $T_{ВД} = 52$ );

$T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 12$ ).

Следовательно, коэффициент календарности равен 1,213.

В таблице 21 приведены результаты расчета продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В таблице 22 представлен линейный график работ.

Таблица 21 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,07	–
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2	3	2,4	2,88	1,44	3,49	1,74
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	13	16	14,2	4,26	17,04	5,16	20,67
Разработка календарного плана	НР, И	1	3	1,8	2,16	0,216	2,62	0,26
Обсуждение литературы	НР, И	2	4	2,4	0,57	2,88	0,69	3,49
Проведение сравнительного анализа существующих стендов	И	10	14	11,6	–	13,92	–	16,88
Разработка комплекта схем автоматики	И	12	16	13,6	–	16,32	–	19,79
Выбор датчиков и исполнительных механизмов	И	5	8	6,2	–	7,44	–	9,02
Выбор средств управления	И	3	6	4,2	–	5,04	–	6,11
Разработка математического обеспечения	И	12	17	14	–	16,8	–	20,37
Составление презентации	И	5	8	6,2	4,46	7,44	5,4	9,02
<b>Итого:</b>				<b>79,4</b>	<b>17,69</b>	<b>88,53</b>	<b>21,43</b>	<b>107,38</b>

Таблица 22 – Линейный график работ

Этап	Н	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	4,07	–	■										
2	3,49	1,74	■										
3	5,16	20,67		■	■	■							
4	2,62	0,26											
5	0,69	3,49											
6	–	16,88					■	■					
7	–	19,79						■	■				
8	–	9,02								■			
9	–	6,11									■		
10	–	20,37										■	
11	5,4	9,02											■

НР – ■; И ■

Таким образом, в разделе был проведен анализ объема работ и этапов. Наученный руководитель будет задействован в проекте 18 дней, а студент 89 дней.

### **10.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

Для расчета затрат необходимо выделить основные статьи расходов при выполнении проекта. Основные статьи расхода:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- прочие (накладные расходы) расходы.

#### **10.3.1 Расчет затрат на материалы**

В таблице 23 представлены все материальные затраты в проекте.

Таблица 23 – Материальные затраты

<b>Наименование материалов</b>	<b>Цена за ед., руб.</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Сумма, руб.</b>
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	150
Преобразователь частоты IDD751U21B	17299,85	1 шт.	17299,85
Горизонтальный многоступенчатый насос CMF4-20	12350	1 шт.	12350
Датчик избыточного давления APZ3420	17699,75	1 шт.	17699,75

Продолжение таблицы 23 – Материальные затраты

Датчик избыточного давления APZ2410	5639,99	1 шт.	5639,99
Емкостной датчик уровня DLM-35	27400,76	1 шт.	27400,76
Лопастной расходомер EPR12	44308,84	1 шт.	44308,84
Электромагнитный клапан SMART SG553	3117,82	3 шт.	9353,46
Регулирующий клапан 2-х ходовой SMART QT730	13959,19	2 шт.	27918,38
Датчик уровня жидкости RSF73Y100RN	1830	3 шт.	5490
Программируемый логический контроллер Элсима M01	10000	1 шт.	30000
Модуль удаленного ввода/вывода ТМА-301	3000	1 шт.	10000
Панель оператора 10.1" Weintek MT8102iP	29090,52	1 шт.	29090,52
Источник питания MEAN WELL MDR-40-24	1480	1 шт.	1480
Электромеханическое реле	570	2 шт.	1140
Оргстекло Лист 100*300*10	10000	1 шт.	10000
Полипропиленовая труба диаметром 32мм	87	1 шт.	87

Продолжение таблицы 23 – Материальные затраты

Набор сборочных компонентов для соединения полипропиленовых труб (штуцеры, переходники, резьбовые соединения)	10000	1 шт.	10000
Труба из оргстекла 2м	15000	1 шт.	15000
Стол 160*68*80	5000	1 шт.	5000
<b>Итого:</b>			<b>279 488,55</b>

Допустим, что ТЗР составляет 5% от отпускной цены устройств и материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны  $C_{\text{мат}} = 279\,488,55 \cdot 5\% = 293\,463$  руб.

### 10.3.2 Расчет заработной платы

Рассчитаем заработные платы инженера и научного руководителя:

$$K_{\text{з/пл}} = 3П_{\text{инж}} + 3П_{\text{нр}} \quad (58)$$

где  $3П_{\text{инж}}$  – заработная плата инженера;

$3П_{\text{нр}}$  – заработная плата научного руководителя.

Заработная плата за месяц:

$$3П_{\text{мес}} = 3П_0 \cdot k \quad (59)$$

где  $3П_0$  – месячный оклад (рублей);

$k$  – районный коэффициент (1,699).

Заработная плата инженера за месяц:

$$3П_{\text{инж}} = 3П_{0\text{инж}} \cdot k = 9489 \cdot 1,699 = 16121,8 \text{ руб.} \quad (60)$$

Заработная плата научного руководителя:

$$ЗП_{нр} = ЗП_{0инж} \cdot к = 43264 \cdot 1,699 = 73505,8 \text{ руб.} \quad (61)$$

Рассчитаем фактическую заработную плату инженера:

$$ЗП_{инж.факт} = \frac{ЗП_{инж.факт} * n}{25,083} = \frac{16121,8 * 89}{25,083} = 57204 \text{ руб.} \quad (62)$$

где n – фактическое количество дней работы.

Рассчитаем фактическую заработную плату инженера:

$$ЗП_{нр.факт} = \frac{ЗП_{нр.факт} * n}{25,083} = \frac{73505,8 * 18}{25,083} = 52749 \text{ руб.} \quad (63)$$

В таблице 24 представлены результаты расчетов заработной платы.

Таблица 24 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	<b>43 264</b>	1 724,8	18	1,699	<b>52 749</b>
И	<b>9 489</b>	378,3	89	1,699	<b>57 203</b>
<b>Итого:</b>					<b>109 950,8</b>

### 10.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог включают в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование. Он составляет 30% от полной заработной платы по проекту:

$$C_{соц} = C_{зп} * 0,3 = 109950,8 * 0,3 = 32985,2 \text{ руб.} \quad (64)$$

где  $C_{зп}$  – полная заработная плата (рублей).

### 10.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

В ходе выполнения проекта расходуется электроэнергия, рассчитаем количество затраченной электроэнергии:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{Э}} \quad (65)$$

где  $P_{\text{об}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{\text{Э}} = 6,59$  руб./кВт·час (с НДС). В таблице 25 представлены затраты на электроэнергию.

Таблица 25 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$ , час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$ , кВт	Затраты $Э_{\text{об}}$ , руб.
Персональный компьютер	427,2	0,3	844,57

### 10.3.5 Расчет амортизационных расходов

Амортизационные отчисления рассчитываются для персонального компьютера:

$$C_{\text{ам}} = \frac{N_{\text{А}} * Ц_{\text{об}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{д}}} \quad (66)$$

где  $N_{\text{А}}$  – годовая норма амортизации единицы оборудования (0,4);

$Ц_{\text{об}}$  – балансовая стоимость единицы оборудования;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования (2384 часа);

$t_{\text{рф}}$  – фактическое время работы оборудования;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Следовательно, рассчитаем амортизационный расход персонального компьютера:

$$C_{\text{ам}} = \frac{N_{\text{А}} * Ц_{\text{об}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{д}}} = \frac{0,4 * 70000 * 712 * 1}{2384} = 8362 \text{ руб.} \quad (67)$$

### 10.3.6 Расчет прочих расходов

Прочие расходы следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 = (293463 + 109950,8 + 32985,2 + 844,57 + 8362) \cdot 0,1 = 445\,605,548 \cdot 0,1 = 44\,560,55 \text{ руб.} \quad (68)$$

### 10.4 Расчет общей себестоимости разработки

Суммируем сметы по всем статьям расходов на разработку, представленные в таблице 26.

Таблица 26 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	293463
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	109950,8
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	32985,2
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	844,57
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	8362
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	44 560,55
<b>Итого:</b>		<b>490 166</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 490\,166$  руб.

### **10.5 Расчет НДС**

Налог на добавленную стоимость составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. Следовательно:

$$\text{НДС} = C \cdot 0,2 = 490\,166 \cdot 0,2 = 98\,033,22 \text{ руб.} \quad (69)$$

### **10.6 Цена разработки НИР**

Полная цена разработки равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, поэтому суммируем данные сметы.

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 490\,166 + 98\,033,22 = 588\,199,22 \text{ руб.} \quad (70)$$

### **10.7 Расчет экономической эффективности проекта**

Данный проект разрабатывается в рамках создания лаборатории автоматизации на базе ТПУ и предназначен для обеспечения учебного процесса студентов, прохождения курсов повышения квалификации инженеров промышленных производств, поэтому экономический эффект от разработки и применения стенда несет чисто дидактический характер и прямая оценка экономической эффективности невозможна. Но также возможно производство разрабатываемой модели стенда на продажу в другие научно-технические лаборатории, что позволит извлекать прибыль с проекта. Наценка на готовую установку составит в пределах 20% от цены разработки, следовательно чистая прибыль с одного стенда составит около 120000 рублей.

### **Вывод по финансовому менеджменту, ресурсоэффективности и ресурсосбережению**

В ходе оценки финансовой эффективности разрабатываемого проекта был разработан календарный план проведения основных работ, количество дней необходимых на разработку составило 89 рабочих дня. Были рассчитаны сметы затрат на проектирование, себестоимость проекта и его итоговая цена разработки, которая составила 552 540,144 рублей.

## **11 Социальная ответственность**

В ходе данной работы был разработан стенд физического подобия для исследования алгоритмов автоматического управления в гидравлических процессах. На стенде планируется исследование и разработка алгоритмов управления для использования в гидравлических системах, помимо исследовательской деятельности, на разрабатываемом устройстве подразумевается обучение студентов основам теории автоматического управления и выполнение лабораторных работ. Стенд будет оснащен датчиками, исполнительные механизмы и персональным компьютером с организованным рабочим местом пользователя. Пользователями данного устройства будут являться студенты ТПУ. Работы по проектированию и реализации стенда проводились в аудитории 101 корпуса №10 ТПУ. Местом будущей эксплуатации стенда является также 101 аудитория корпуса №10 ТПУ.

### **11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами [22]. К таким органам относятся Федеральная инспекция труда, Государственная экспертиза условий труда, Федеральная служба по труду и занятости населения, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России) Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др. Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации,

в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

Основные виды работ со стендом связаны с работой на персональном компьютере, поэтому важно то, как будет скомпоновано рабочее место студента. Также работа будет вестись и с аппаратной частью. Средствами отображения информации является монитор ПК и панель оператора, а часто используемые органы управления — это мышь, клавиатура и touch-панель оператора. Рабочее место оборудуется в соответствии требованиями [23]. Оно должно занимать площадь не менее 6 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Также рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Так же кресло оператора должно соответствовать требованиям [24]. Так как стенд оборудован устройствами индикации они должны соответствовать нормативным требованиям [25]. Помимо это рабочее место должно соответствовать гигиеническим нормам СанПиН [26].

## 11.2 Производственная безопасность

В таблице 27 представлены опасные производственные факторы.

Таблица 27 – Опасные производственные факторы

Факторы по ГОСТ	Этапы			Нормативные документы
	Разраб.	Произв.	Экспл.	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. ГОСТ 12.1.019-2017 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное
Превышение уровня шума	-	+	+	
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
Поражение электрическим током	-	+	+	
Повышенная напряженность электрического поля	+	+	+	

				освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (1 октября 1996 г. N 21).
--	--	--	--	---

### 11.2.1 Отклонение показателей микроклимата

На микроклимат в рабочем помещении может влиять температура за окном, нагревательные батареи, вентиляция, а также количество включенной техники в лаборатории.

Микроклимат помещения, в котором человек находится долго, играет большую роль в работоспособности, возможности комфортно отдохнуть и расслабиться. Состояние внутренней среды здания может не только плодотворно влиять на здоровье человека, но и оказывать негативное воздействие. Микроклимат любых помещений характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения.

Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата приведены в таблице 28 и таблице 29 соответственно, исходя из требований СанПиН [27]. Вид деятельности оператора преимущественно сидячий это относится к категории 1а по энергозатратам.

Таблица 28 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1а (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	1а (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

В целях защиты, работающих от возможного перегревания или охлаждения, при температуре воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин, время пребывания на рабочих местах (непрерывно или суммарно за рабочую смену) должно быть ограничено.

Таблица 29 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Диапазон температур воздуха ниже оптимальных величин	Диапазон температур воздуха выше оптимальных величин
Холодный	1а (до 139)	20,0-21,9	24,1-25	19-26	15-75	0,1	0,1
Теплый	1а (до 139)	21,0-22,9	25,1-26	20-29	15-75	0,1	0,2

### 11.2.2 Превышение уровня шума

Шум в рабочем помещении может возникать при работе ПК, исполнительных механизмов станда, от других работающих установок, системы кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Повышенный шум ухудшает условия труда, оказывает вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция,

увеличивается число ошибок при работе. Предельно допустимые уровни звукового давления представлены в таблице 30, исходя из источника [28].

Таблица 30 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Распространенные средства индивидуальной защиты от шума – это пробки, наушники, вкладыши (беруши) и шлемы.

Меры коллективной защиты могут включать в себя, в частности:

- оценку риска потери слуха работником;
- использование малошумных машин;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению шума и вибрации;
- привлечение к работам лиц, не имеющих медицинских противопоказаний по шуму;
- контроль правильности использования средств индивидуальной защиты.

### **11.2.3 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны**

В условиях работы в лаборатории ТПУ, могут возникать проблемы с поступлением естественного света. Согласно нормам освещенности [29] недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным фактором, который приводит к быстрому утомлению и снижению работоспособности. Плохое освещение негативно воздействует на зрение и приводит к быстрому

утомлению. Средствами нормализации освещенности производственных помещений рабочих мест являются:

- источники света;
- осветительные приборы;
- световые проемы;
- светозащитные устройства;
- светофильтры;
- защитные очки.

В таблице 31 представлены регламентированные допустимые характеристики освещенности рабочих мест в учебных аудиториях в университете.

Таблица 31 – Допустимые характеристики освещенности

Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
КЕО, %		КЕО, %		Освещенность, лк			Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более
При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	Всего	От общего	При общем освещении		
							3,2	1,2

Для того что бы снизить влияние данного фактора на здоровье, необходимо соблюдать допустимое время нахождения перед монитором компьютера и делать перерывы в работе. Помимо этого, возможно использование дополнительных источников света, таких как настольные лампы.

#### 11.2.4 Поражение электрическим током

Поражение электрическим током возможно при контакте с силовыми цепями электродвигателя насоса.

Поражение электрическим током является наиболее опасным из всех видов вредного воздействия, по причине того, что электрический ток является невидимым для глаз человека. Действие электрического тока на организм человека носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действие.

Для предотвращения поражения электрическим током помещение, где размещается рабочее место и разрабатываемое устройство, должно быть оборудовано защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации. Основными техническими средствами защиты, являются защитное заземление, как указывалось ранее, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Перед началом работы на стенде необходимо изучить правила электробезопасности, которые описаны в требованиях к электробезопасности [30].

#### **11.2.5 Повышенная напряженность электрического поля**

Повышенная напряженность электрического поля может возникать в аудитории от работы электронных устройств, таких как мониторы и персональные электронно-вычислительные машины.

Негативное воздействие на человека повышенная напряженность электрического поля выражается в виде торможения рефлексов, изменения головного мозга, нарушения памяти, понижения кровяного давления, замедления сокращений сердца, нарушений в печени и селезенке, помутнения хрусталика глаза. Для того что бы уберечь людей от получения хронических заболеваний при эксплуатации стенда существуют временные требования к пребыванию в электрическом поле.

Исходя из гигиенических требований к персональным электронно-вычислительным машинам [31] пребывание в электрическом поле напряженностью до 5кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня, а нахождение в поле напряженностью от 5 до 20 кВ/м допускается в течение одного часа. Необходимо отслеживать время, проведенное за работой, при необходимости осуществлять перерывы и проветривать помещение.

### **11.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассмотрим характер воздействия проектируемого устройства на окружающую среду, а также выявим предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации стенда.

Стенд на этапе разработки наносит вред окружающей среде за счет выбросов, которые происходят при производстве всех деталей и устройств, используемых в проектируемой системе. Так же в процессе работы электрические узлы стенда потребляют электроэнергию, при выработке которой, наносится вред окружающей среде.

По истечению срока эксплуатации, будет необходимо утилизировать составные компоненты, что повлечет возможное загрязнение литосферы. Поэтому нужно рассмотреть варианты утилизации деталей разрабатываемого устройства. Резервуары из оргстекла подлежат переработки (пере плавки) и могут вторично использоваться. Отходы органического стекла перерабатывать труднее, чем отходы полиэтилена, но эта переработка почти всегда целесообразна, так как вторичный материал имеет достаточно высокое качество. Для переработки отходов органического стекла их необходимо превратить в мелкую крупку или чешуйки. При переработке органического стекла оно, как правило, подвергается тепловым нагрузкам. При горячем формовании (вытяжке, прессовании) материал из стеклообразного состояния переходит в пластическое, а затем снова в стеклообразное. Так же переработки

подлежать полипропиленовые трубы. В основном пластик имеет короткий жизненный цикл и сразу после использования попадает на свалку. Процесс переработки полипропилена включает в себя сбор, сортировку, очистку и непосредственно переработку. Для переработки полипропилен важно отделить от других полимеров. После получения однородного материала, пластик измельчается в порошок или в хлопья, которые затем можно реализовывать как вторичный полипропилен. Так же требуется утилизировать электронные компоненты датчиков, исполнительных механизмов и информационных устройств.

#### **11.4 Безопасность в ЧС**

При выполнении работ наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в лаборатории. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожарной опасности, анализируемое в данной работе помещение относится к категории В [32]. Основные источники возникновения пожара:

- неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях;
- электрические приборы с дефектами;
- перегрузка в электроэнергетической системе и короткое замыкание в электроустановке.

Человек, выполняющий работы в аудитории, в случае возникновения пожара или его признаков (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

- немедленно сообщить об этом по телефону «01» в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию);

— задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации людей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;

— принять по возможности меры по тушению пожара имеющимися в учреждении средствами пожаротушения и сохранности материальных ценностей;

— известить о пожаре руководителя или другого работника.

Меры безопасности обеспечиваются системами предотвращения пожара и противопожарной защиты исходя из требований пожарной безопасности [33].

Средствами обеспечения пожаробезопасности являются:

— огнетушитель, которым обеспечена аудитория, а также пожарный кран, находящийся в здании;

— системы автоматической пожарной сигнализации;

— средства организации эвакуации, в том числе технические.

Мероприятиями обеспечивающие пожаробезопасность являются:

— обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);

— пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

— обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

Перед началом работы необходимо пройти инструктаж и оставить свою роспись в журнале о прохождении инструктажа по пожарной безопасности.

### **Вывод по социальной ответственности**

В данном разделе были проанализированы основные опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке и эксплуатации устройства, представленного в ВКР. Были изучены государственные стандарты и нормы.

## **Заключение**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

- проведен обзор существующих аналогов;
- разработаны структурная, функциональная и принципиальные схемы;
- осуществлен выбор датчиков, исполнительных элементов и средств управления;
- проведена сборка и пусконаладка стенда;
- разработаны математические модели резервуара и насоса;
- разработан цифровой двойник стенда.

Также был проведен анализ финансовой эффективности и социальной ответственности.

## **Conclusion**

In the course of the final qualification work, the following tasks were performed:

- review of existing analogues;
- use structural, functional and circuit diagrams;
- selection of sensors, actuators and logic devices;
- assembly and commissioning of the stand was carried out;
- mathematical models of the tank and pump are used;
- designed digital double stand.

An analysis of financial efficiency and social responsibility was carried out.

## Список источников

1. Учебный стенд «Гидравлический объект». [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.krug2000.ru/publications/951.html>.
2. Лабораторный стенд «Система автоматического регулирования уровня». [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: [http://labstand.ru/catalog/sistemy\\_avtomaticheskogo\\_regulirovaniya\\_i\\_upravleniya\\_tipovoy\\_komplekt\\_uchebnogo\\_oborudovaniya\\_sistema\\_avtomaticheskogo\\_upravleniya\\_urovnya\\_ispolnenie\\_ste\\_5254](http://labstand.ru/catalog/sistemy_avtomaticheskogo_regulirovaniya_i_upravleniya_tipovoy_komplekt_uchebnogo_oborudovaniya_sistema_avtomaticheskogo_upravleniya_urovnya_ispolnenie_ste_5254) (Дата обращения: 7.12.2019).
3. Учебный стенд «Контроль и измерение уровня жидкости». [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://www.denar-prof.ru/products/1256>.
4. Горизонтальные многоступенчатые центробежные насосы. Руководство по монтажу и эксплуатации. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Название документа: ENSI CMF.pdf (Дата обращения: 7.02.2020).
5. Закон Паскаля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: [https://www.webmath.ru/poleznoe/fizika/fizika\\_107\\_zakon\\_paskalja\\_dlja\\_zhidkostej\\_i\\_gazov.php](https://www.webmath.ru/poleznoe/fizika/fizika_107_zakon_paskalja_dlja_zhidkostej_i_gazov.php) (Дата обращения: 7.03.2020).
6. Датчик давления APZ 3420: [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Ссылка на PDF файл: <https://piezus.ru/media/catalog/product/apz3420ru.pdf> (Дата обращения: 7.02.2020).
7. Датчик давления APZ 2410. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Ссылка на PDF файл: <https://piezus.ru/media/catalog/product/apz2410ru.pdf> (Дата обращения: 7.02.2020).

8. Датчик уровня DLM-35-N-20. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Ссылка на PDF файл: [http://www.dinel.cz/\\_file/AMIfv97sMZXuPPhVnkr6TefapP6iC4afcAH4rY0QdsUtmOrPkz0JtD1Os4IdU63qwIIWif-keOGgwVRkUyIYgCS\\_927yDd0yFL1z\\_0KW25PxUtUlro0lz6Q0HWgBW2WWpl\\_hhDLjErYL8SgOvZXkdaouccoR-7IwZw/dlm-35\\_nav\\_ru\\_n3\\_07\\_2018\\_web.pdf](http://www.dinel.cz/_file/AMIfv97sMZXuPPhVnkr6TefapP6iC4afcAH4rY0QdsUtmOrPkz0JtD1Os4IdU63qwIIWif-keOGgwVRkUyIYgCS_927yDd0yFL1z_0KW25PxUtUlro0lz6Q0HWgBW2WWpl_hhDLjErYL8SgOvZXkdaouccoR-7IwZw/dlm-35_nav_ru_n3_07_2018_web.pdf) (Дата обращения: 7.12.2019).

9. Формула Торричелли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://v-kosmose.com/fizika/zakon-torrichelli/> (Дата обращения: 7.03.2020).

10. Условия применения закона Бернулли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://studfile.net/preview/2703783/page:13/> (Дата обращения: 25.04.2020)

11. Расходомер EPR12. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://rusautomation.ru/rashodomery/epr-series> (Дата обращения: 7.02.2020).

12. Датчик уровня жидкости RSF73Y100RN [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/rsf73y100rn> (Дата обращения: 9.02.2020).

13. Клапан SMART QT730623. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://shop-watervalve.ru/index.php/59777/> (Дата обращения: 7.02.2020).

14. Клапан SMART SG55335. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://shop-watervalve.ru/index.php/59189/> (Дата обращения: 7.02.2020).

15. Программируемый Логический Контроллер Элсима M01. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://elesy.ru/products/products/elsyma/elsyma-m01/ti.aspx> (Дата обращения: 7.02.2020).

16. Модуль удаленного ввода/вывода ТМА-301. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://elesy.ru/products/products/tm/tma-301/ti.aspx> (Дата обращения: 7.02.2020).
17. Частотный преобразователь Innovert IDD751U21В. [Документ PDF]. Режим доступа: свободный. Ссылка на PDF файл: <https://www.prst.ru/docs/innovert/innovert-IDD.pdf> (Дата обращения: 7.02.2020).
18. Панель оператора 10.1" Weintek MT8102iP. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://www.rusavtomatika.com/weintek/MT8102iP.php> (Дата обращения: 7.02.2020).
19. Источник питания MEAN WELL DR-75-24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <https://www.chipdip.ru/product/dr-75-24> (Дата обращения: 7.02.2020).
20. Автоматический выключатель ВА47-29 2P ИЕК. [Электронный ресурс]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: [https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe\\_oborudovanie/avtomaticheskie\\_vy\\_klyuchateli/avtomaticheskie\\_vyklyuchateli\\_va47\\_29/va47\\_29\\_khar\\_ka\\_s/vyklyuchatel\\_avtomaticheskiy\\_va47\\_29\\_2r\\_16a\\_4\\_5ka\\_s\\_iek](https://www.iek.ru/products/catalog/modulnoe_oborudovanie/avtomaticheskie_vy_klyuchateli/avtomaticheskie_vyklyuchateli_va47_29/va47_29_khar_ka_s/vyklyuchatel_avtomaticheskiy_va47_29_2r_16a_4_5ka_s_iek) (Дата обращения: 7.02.2020).
21. Гидравлический расчет водоснабжения и отопления. [Видео материалы]. Режим доступа: свободный. Ссылка на ресурс: <http://gidroraschet.ru/glav/kurs/gidro/uroki/0.php> (Дата обращения 5.05.2020).
22. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).
23. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.2.032-78.
24. Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования ГОСТ 21889-76.

25. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 3. Органы управления ГОСТ EN 894-3-2012.

26. Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

27. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96.

28. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ.

29. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

30. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ 12.1.019-2017.

31. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

32. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности НПБ 105-03.

33. Пожарная безопасность. Общие требования ГОСТ 12.1.004-91.

## Приложение 1

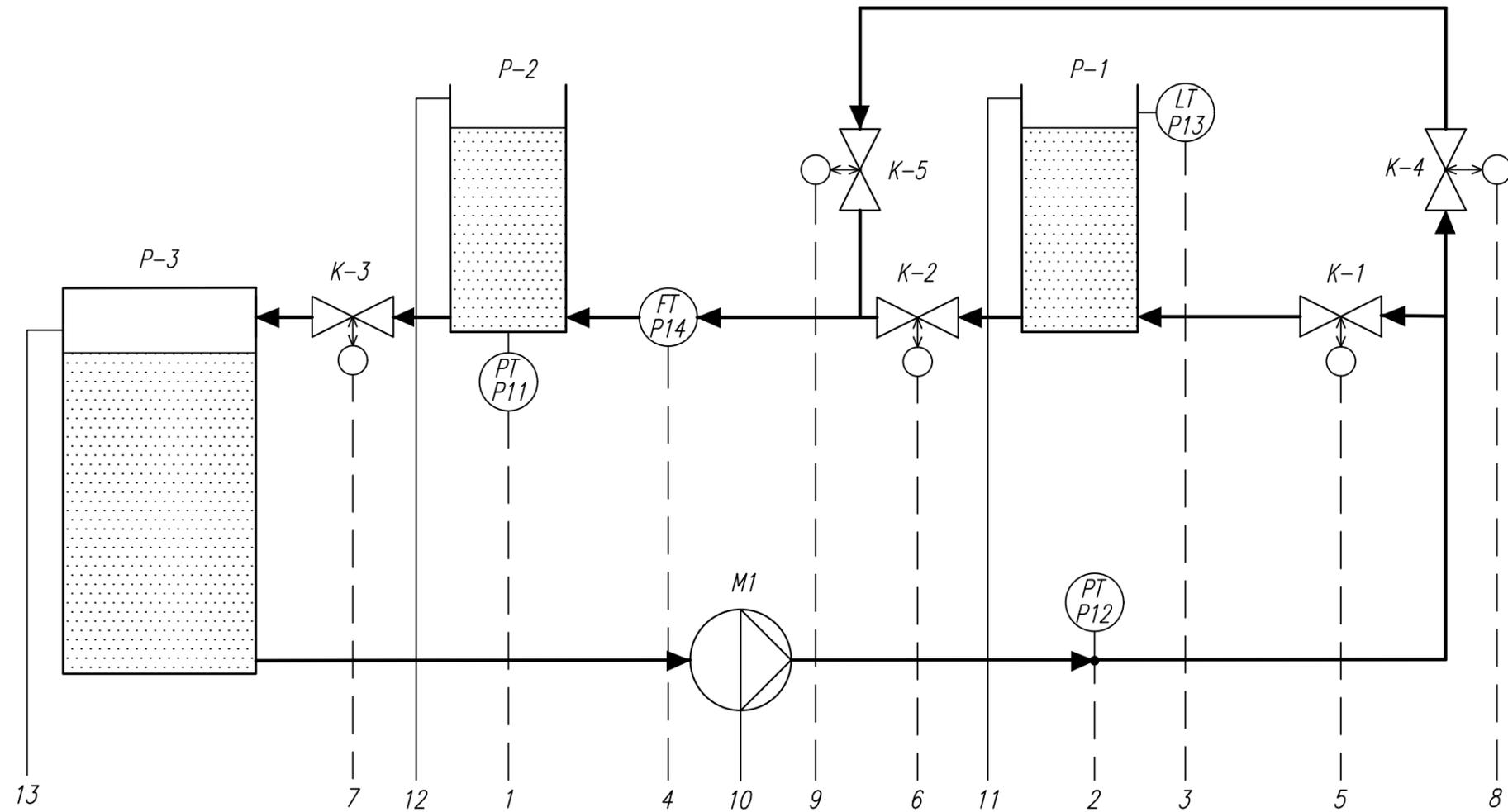
(Обязательное)

Функциональные, принципиальные  
схемы и сборочные чертежи стенда









Согласовано

Взам. инв. N

Подп. и дата

Инв. N подл.

Изм.	Кол. у	Лист	Издок.	Подпись	Дата
Разраб.				Подковывров	
Пров.				Зарницын	
Утв.				Зарницын	

ФЮРА.063000.004.Э2

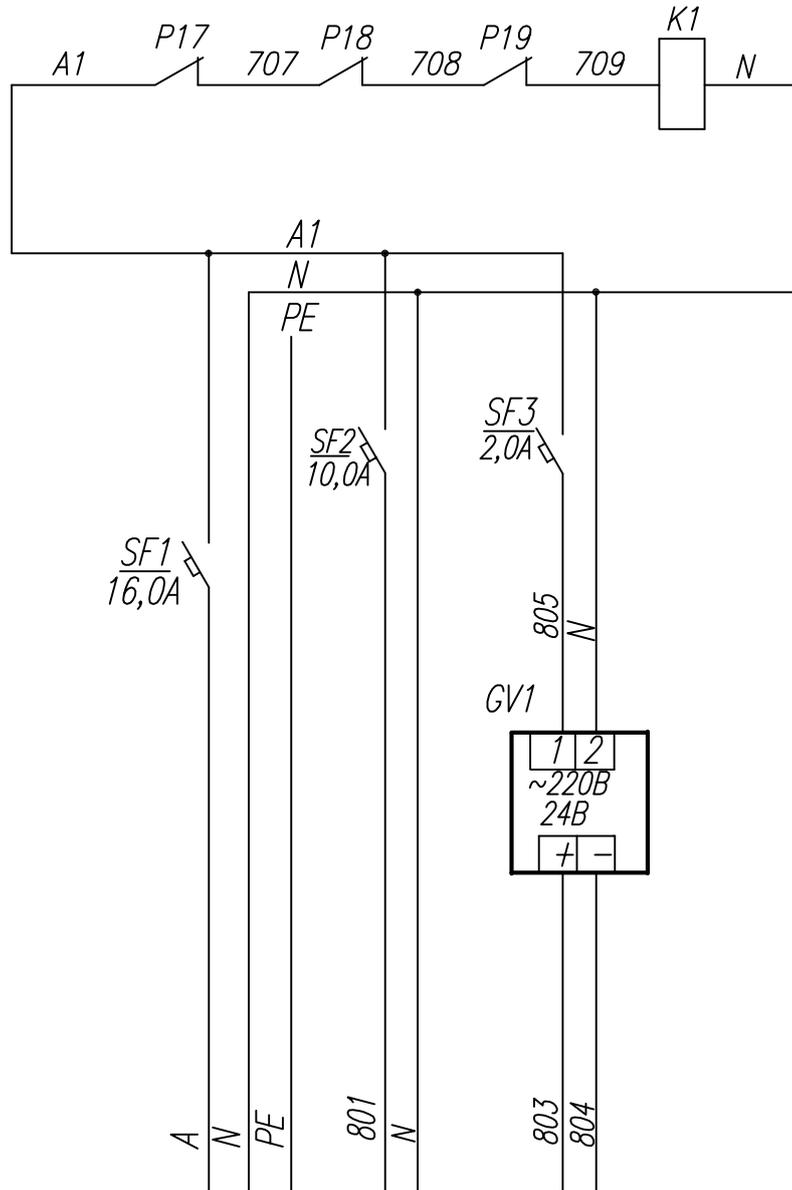
### Стенд физического подобия

Функциональная схема  
автоматизации стенда

Стадия	Лист	Листов
Р	1	2
ТПУ ИШИТР ОАР Группа 8Е62		

Формат А3





Характеристика токоприемника	Позиция	Ввод питания	B1	ХТ1
	Тип прибора		IDD751U2	Клеммы ХТ1
	Напряжение(В)		~220В	24В
	Мощность(ВА)			
	Потребитель		Частотный преобразователь	Элементы с питанием 24В
	Место установки		ЩУ	

Инв. N подл.	Подп. и дата	Взам.инв.Н	

Изм.	Кол.у	N докум.	Подр.	Дата
Разраб.	Подковыров			
Провер.	Зарницын			
Утв.	Зарницын			

ФЮРА.043446.006.33

Стенд физического подобия

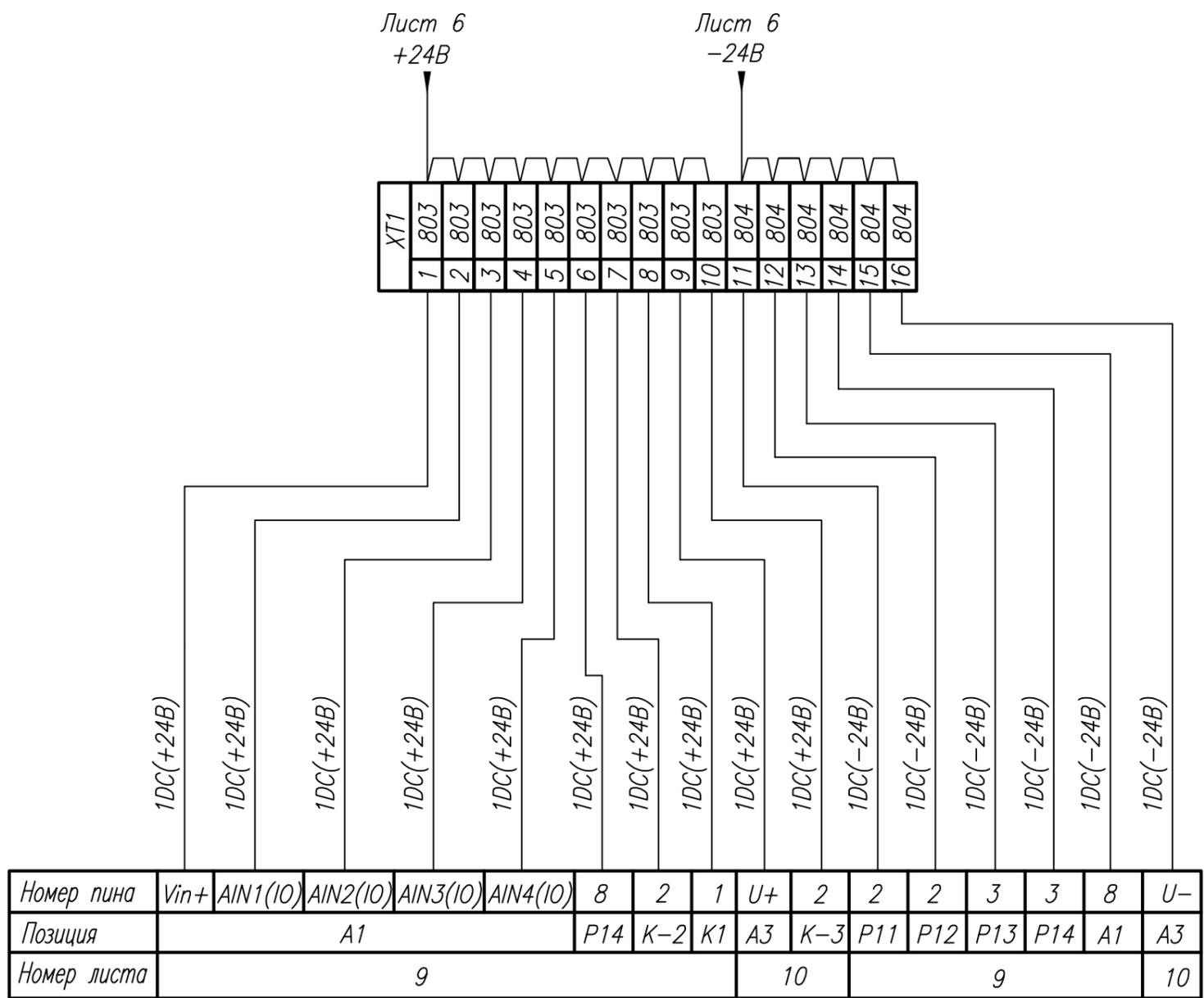
Принципиальная электрическая  
схема питания

Стадия	Лист	Листов
Р	1	1
ТПУ ИШИТР ОАР группа 8Е62		

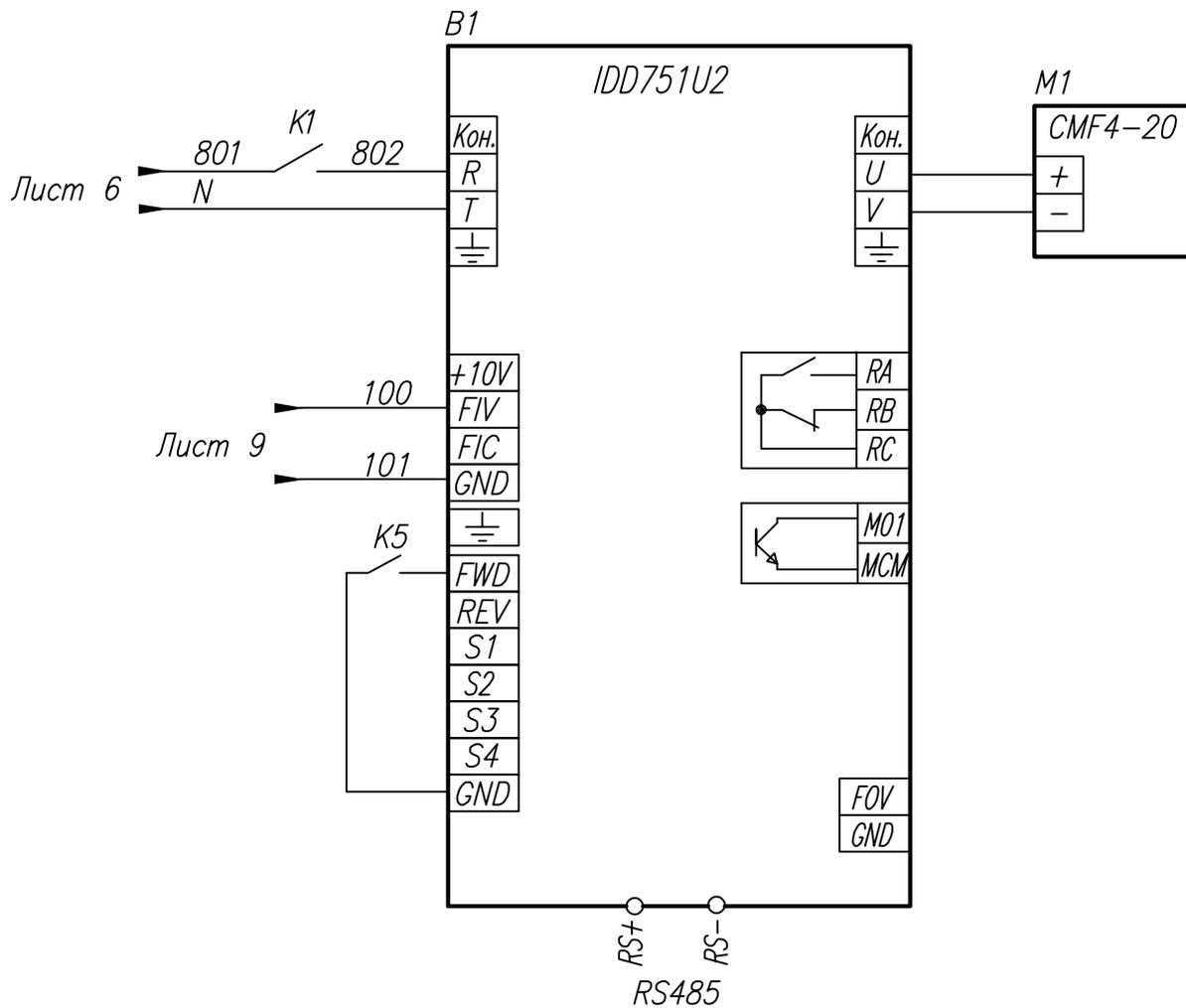
Формат А4

Согласовано

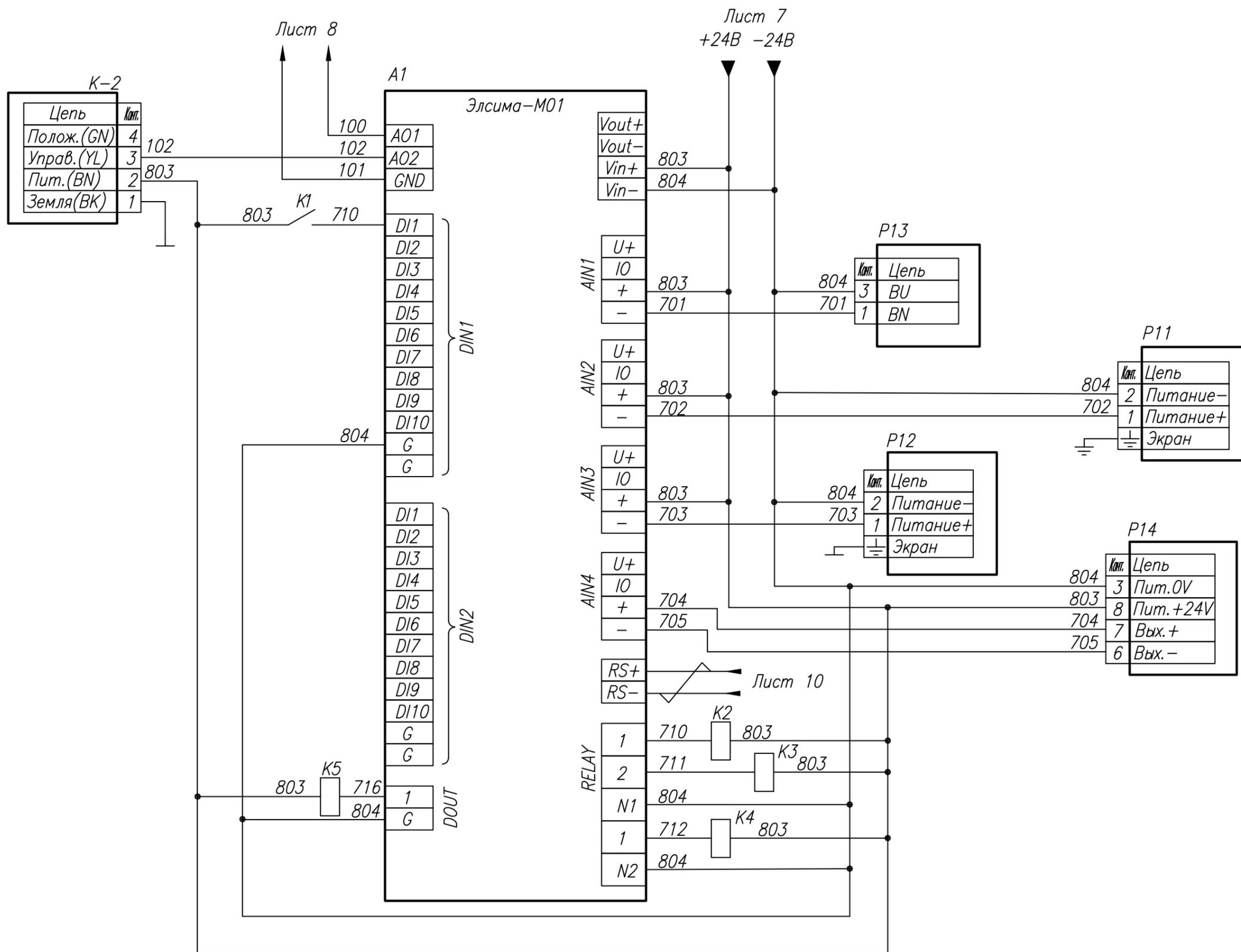
Инв.№ подл. Подп. и дата Подп. инв.№



						ФЮРА.674230.007.33			
						Стенд физического подобия			
Изм.	Кол.у	Лист	Идок.	Подпись	Дата	Принципиальная электрическая схема питания цепей постоянного тока	Стадия	Лист	Листов
Разраб.	Подковыров						P	1	1
Пров.	Зарницын						ТПУ ИШИТР ОАР Группа 8Е62		
Утв.	Зарницын						Формат А3		



Инв. N подл.	Подп. и дата	Взам.инв. N					
		ФЮРА.437100.008.33					
		Стенд физического подobia					
		Изм	Кол.у	N докум.	Погр.	Дата	
		Разраб.	Подковыров				
		Провер.	Зарницын				
		Утв.	Зарницын				
		Принципиальная электрическая схема подключения частотного преобразователя			Стадия	Лист	Листов
					ТПУ ИШИТР ОАР группа 8Е62		
Формат А4							



Согласовано

Инв.№ подл. / Подп. и дата / Взам. инв.№

Изм.	Кол.у	Лист	Идок.	Подпись	Дата
Разраб.				Подковыров	
Пров.				Зарницын	
Утв.				Зарницын	

ФЮРА.656200.009.33

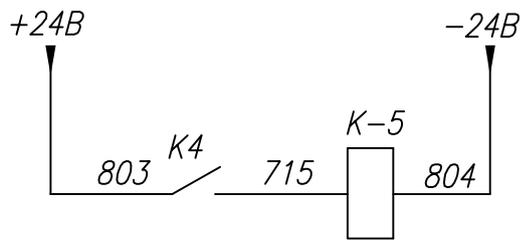
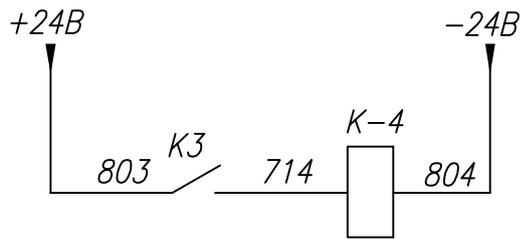
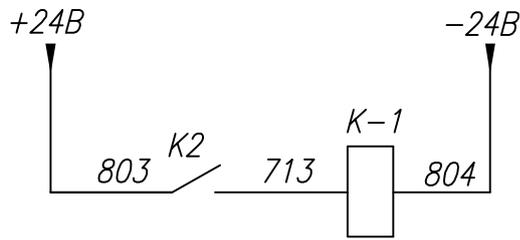
### Стенд физического подобия

Принципиальная электрическая  
схема подключения контроллера

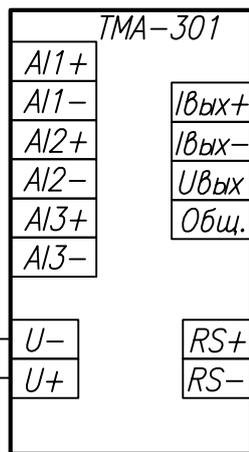
Стадия	Лист	Листов
Р	1	2

ТПУ ИШИТР ОАР  
Группа 8Е62

Формат А3



A3



-24V → 804  
+24V → 803

105

102

803

Лист 9

K-3

Конт.	Цепь
4	Полож.(GN)
3	Управ.(YL)
2	Пит.(BN)
1	Земля(BK)

Изм. N	подл.	Подп. и дата	Взам.инв. N

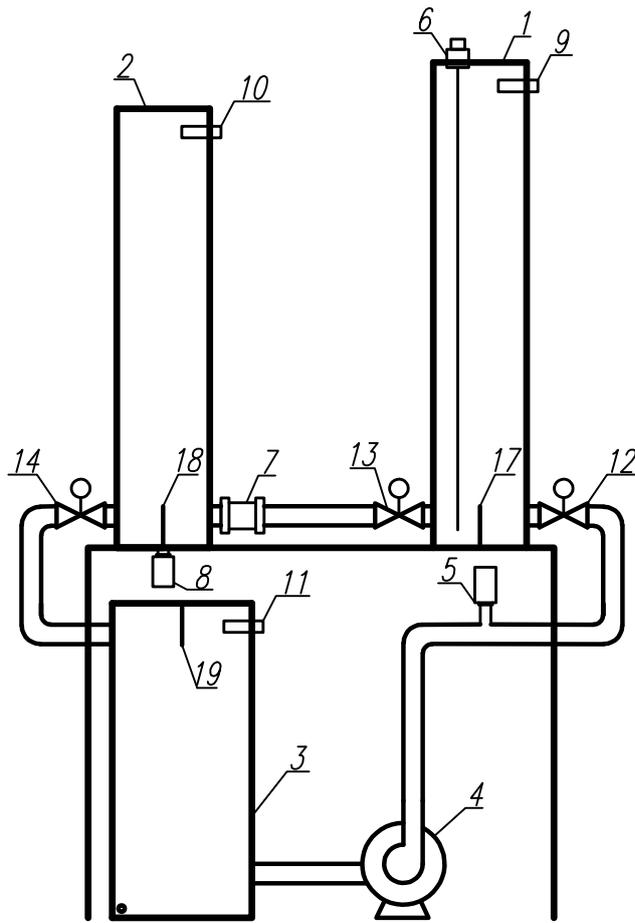
Изм.	Кол.уч	Лист	N док	Подпись	Дата

ФЮРА.656200.010.33

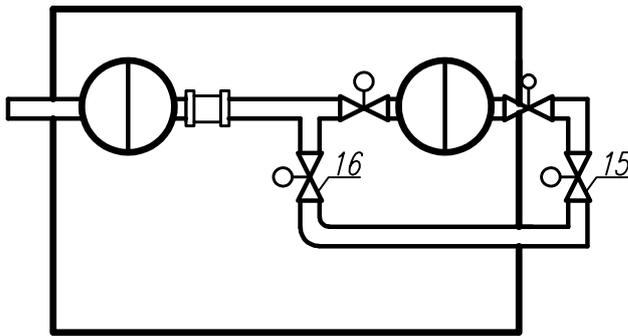
Лист

2

Формат А4

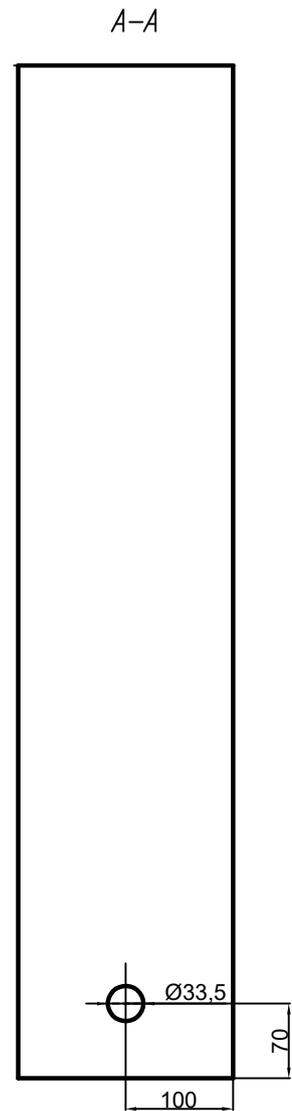
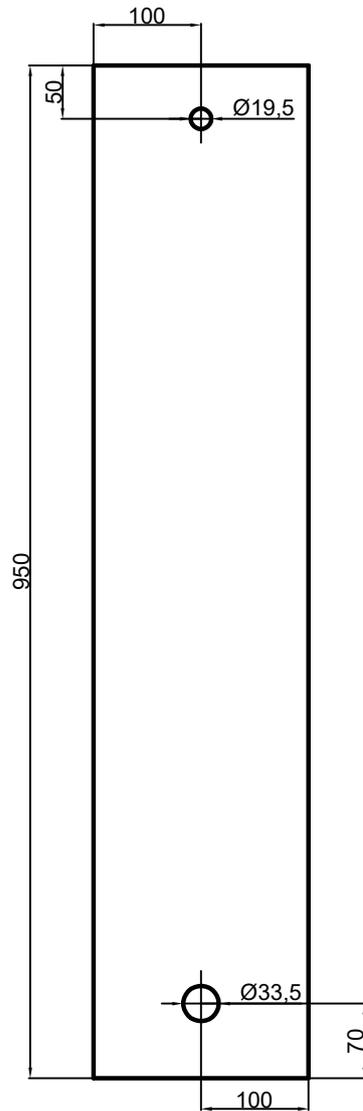
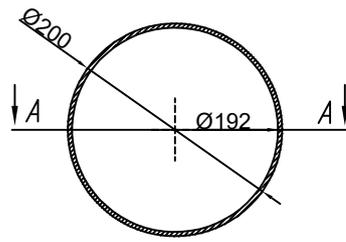


1. Мерный резервуар P-1
2. Мерный резервуар P-2
3. Общий резервуар P-3
4. Многоступенчатый центробежный насос
5. Датчик избыточного давления в трубопроводе
6. Емкостной уровнемер
7. Лопастной расходомер
8. Датчик избыточного давления в резервуаре
9. Датчик уровня в резервуаре P-1
10. Датчик уровня в резервуаре P-2
11. Датчик уровня в резервуаре P-3
12. Электромагнитный клапан K-1
13. Регулируемый клапан K-2
14. Регулируемый клапан K-3
15. Электромагнитный клапан K-4
16. Электромагнитный клапан K-5
17. Перегородка в резервуаре P-1
18. Перегородка в резервуаре P-2
19. Перегородка в резервуаре P-3

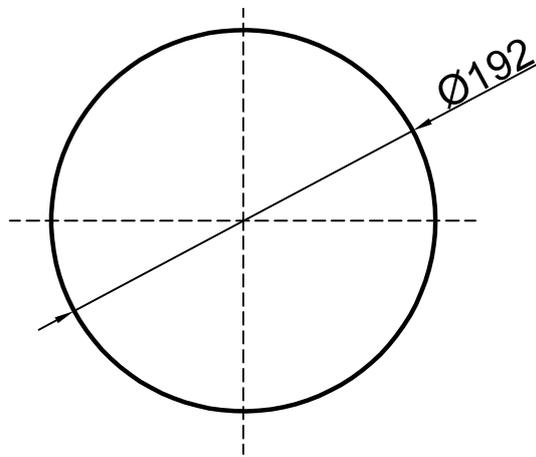
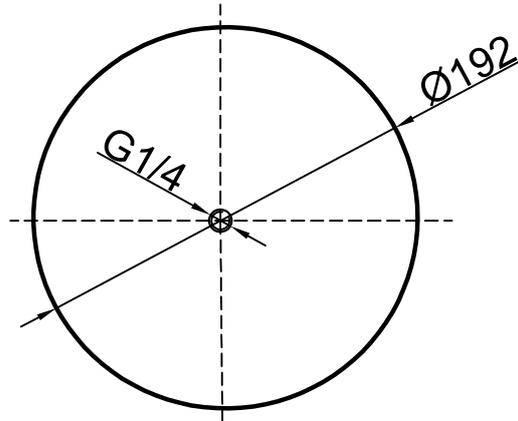
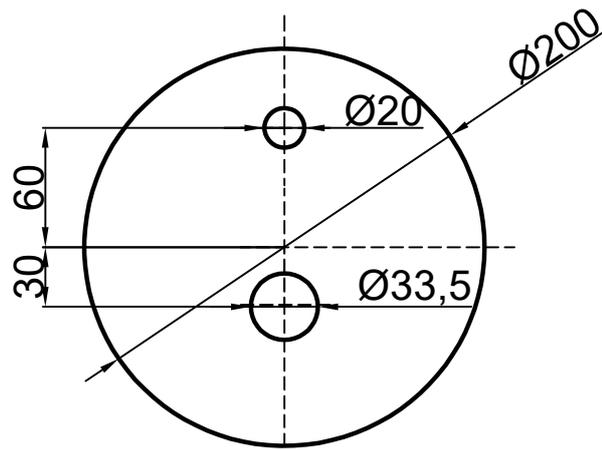


Взам.инв.№					ФЮРА.063000.011.В0			
					Стенд физического подobia			
Подп. и дата	Изм.	Кол.у	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.		Подковыров					
Инв. № подл.	Провер.		Зарницын			Стадия	Лист	Листов
	Утв.		Зарницын			Р	1	1
Общий вид стенда						ТПУ ИШИТР ОАР группа 8Е62		
Формат А4								





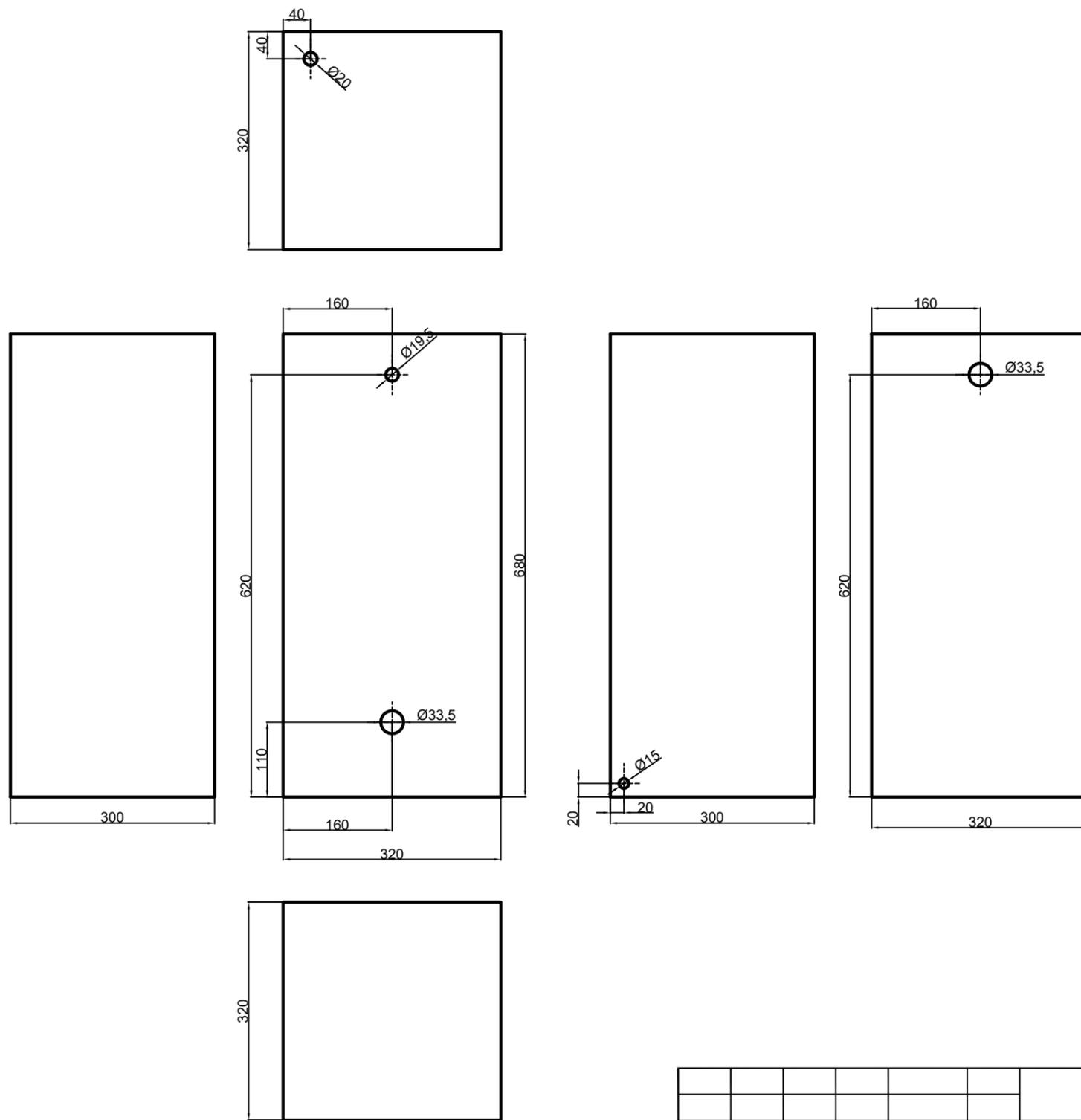
Инв. N подл.	Подп. и дата					ФЮРА.667477.013.СБ				
						Стенг физического подobia				
Инв. N подл.	Подп. и дата	Изм	Кол.у	N докум.	Попр.	Дата	Сборочный чертеж резервуара Р-2	Стадия	Лист	Листов
		Разраб.		Подковыров				Р	1	1
		Провер.		Зарницын						
		Утв.		Зарницын						
							ТПУ ИШИТР ОАР группа 8Е62			



Изм.	Кол. у	N докум.	Подп.	Дата	ФЮРА.667477.014.СБ			
								Стенд физического подobia
Изм.	Кол. у	N докум.	Подп.	Дата	Стадия	Лист	Листов	
Разраб.		Подковыров			Сборочный чертёж технологических дисков для резервуаров Р-1 и Р-2	Р	1	1
Провер.		Зарницын				ТПУ ИШИТР ОАР группа 8Е62		
Утв.		Зарницын			Формат А4			

Согласовано

Инв.№ подл. Подп. и дата. Взам. инв.№



						ФЮРА.667477.015.СБ			
						Стенд физического подобия			
Изм.	Кол.у	Лист	Идент.	Подпись	Дата	Сборочные чертеж резервуара Р-3	Стадия	Лист	Листов
Разраб.				Подковыров			Р	1	2
Пров.				Зарницын					
Утв.				Зарницын					
							ТПУ ИШИТР ОАР Группа 8Е62		
							Формат А4		

## Приложение 2

Программный код ПИД – регулятора и код обработки  
сигналов с датчиков

```

1. VAR_INPUT//ВХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ
2.     ER:REAL;//ОШИБКА РЕГУЛИРОВАНИЯ
3.     PV:REAL;//ИЗМЕРЕННЫЙ СИГНАЛ ОТ ДАТЧИКА
4.     SP:REAL;//УСТАВКА ДЛЯ РЕГУЛЯТОРА
5.     db_h:REAL;//ВЕРХНЯЯ ЗОНА НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОШИБКИ
6.     db_l:REAL;//НИЖНЯЯ ЗОНА НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
7.     lim_out_h:REAL;//ВЕРХНЕЕ ОГРАНИЧЕНИЕ
8.     lim_out_l:REAL;//НИЖНЕЕ ОГРАНИЧЕНИЕ
9.     MAN:REAL;//РУЧНОЕ ЗАДАНИЕ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА
10.    MAN_ON:BOOL;//ВКЛЮЧИТЬ РУЧНОЕ ПИТАНИЕ
11.    q:INT;
12.    g:REAL;
13. END_VAR
14.
15. VAR_OUTPUT//ВЫХОДНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ
16.    OUT:REAL;//ВЫХОД РЕГУЛЯТОРА
17. END_VAR
18.
19. VAR//ВНУТРЕННИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ(СОХРАНЯЕМЫЕ)
20.    _dt:REAL;//ШАГ РАСЧЕТА В СЕКУНДАХ
21.    I_PART:REAL:=0.0;//ИНТЕГРАТОР1 ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
22.    D_INTEGRATOR:REAL:=0.0;//ИНТЕГРАТОР2 ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
    СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
23.    OUT_PID:REAL;//ВЫХОД С ПИД АЛГОРИТМА
24.    SW:REAL;//ВЫХОД С ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ "РУЧНОЙ/АВТОМАТИЧЕСКИЙ"
25.    BUS:REAL;//ВЫЧЕТ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПО АМПЛИТУДЕ
26.    P_PART:REAL;//ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РЕГУЛЯТОРА
27.    D_PART:REAL;//ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ РЕГУЛЯТОРА
28. END_VAR
29.
30. IF task1 = TRUE THEN
31.
32. level_sensor:=(voltage_level - 3.83)*0.94/16; //Датчик уровня P13
33. press1:=(voltage_press1 - 3.897)*250000/16; //Датчик давления P12
34. press2:=(voltage_press2 - 3.97)*250000/16; //Датчик давления P11
35. flow:=(voltage_rate - 3.93)*10*0.000314/16; //Датчик расхода P14
36.
37. level1 :=level_sensor;
38. PV:=level1;
39. SP:=levelset1;
40.
41. q:=997;
42. g:=9.81;

```

```

43. level2:= press2/(q*g);
44.
45. Kp:=23.8;
46. Ki:= 1.69;
47. Kd:= 0.0;
48. Kf:=0.0;
49.
50. ER:=SP-PV;//РАСЧЕТ ОШИБКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ
51. lim_out_h:=10;//ВЕРХНЕЕ ОГРАНИЧЕНИЕ
52. lim_out_l:=0;//НИЖНЕЕ ОГРАНИЧЕНИЕ
53.
54. _dt:=0.02;//ШАГ РАСЧЕТА В СЕКУНДАХ
55. db_h:=0.01;
56. voltage_fr:=OUT;
57. db_l:=-0.01;
58.
59. (*IF ((db_l<ER) AND (ER>db_h)) THEN//ЗОНА НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ОШИБКЕ
60.     ER:=0.0;
61. END_IF*)
62.
63. IF(Kd<>0.0) THEN
64.     D_PART:=((ER*Kd)-D_INTEGRATOR)*Kf;
65. ELSE
66.     D_PART:=0.0;//ЕСЛИ НЕ ИСПОЛЬЗУЕМ, ТО НЕ СЧИТАЕМ
67. END_IF
68.
69. P_PART:=Kp*ER;
70. OUT_PID:=P_PART+I_PART+D_PART;//ВЫХОД ПИД РЕГУЛЯТОРА
71.
72. //РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
73. IF(MAN_ON) THEN//ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ "РУЧНОЙ/АВТОМАТИЧЕСКИЙ"
74.     SW:=MAN;//ВКЛЮЧИТЬ РУЧНОЙ РЕЖИМ ЕСЛИ MAN_ON=1
75. ELSE
76.     SW:=OUT_PID;//ВКЛЮЧИТЬ РУЧНОЙ РЕЖИМ ЕСЛИ MAN_ON=0
77. END_IF
78.
79. //АМПЛИТУДНЫЙ ОГРАНИЧИТЕЛЬ
80. IF(SW>=lim_out_h) THEN//ОГРАНИЧЕНИЕ ВЫХОДА СВЕРХУ
81.     OUT:=lim_out_h;
82. END_IF
83.
84. IF(SW<=lim_out_l) THEN//ОГРАНИЧЕНИЕ ВЫХОДА СНИЗУ
85.     OUT:=lim_out_l;
86. END_IF

```

```
87. IF((SW>lim_out_l) AND (SW<lim_out_h)) THEN//ВЫХОД БЕЗ ОГРАНИЧЕНИЙ
88.     OUT:=SW;
89. END_IF
90.
91. BUS:=OUT-OUT_PID;//ВЫЧЕТ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПО АМПЛИТУДЕ
92.
93. IF(Kd<>0.0) THEN
94.     D_INTEGRATOR:=D_INTEGRATOR+(_dt*D_PART);//ИНТЕГРАТОР
    ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
95. ELSE
96.     D_INTEGRATOR:=0.0;//ЕСЛИ ПЕРЕСТАЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ, ТО ОБНУЛИМ
97. END_IF
98.
99. IF(Ki<>0.0) THEN//ИНТЕГРАТОР ИНТЕГРАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ РЕГУЛЯТОРА
100.     I_PART:=I_PART+(((Ki*ER)+BUS)*_dt);
101.     ELSE
102.     I_PART:=0.0;//ЕСЛИ ПЕРЕСТАЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ, ТО ОБНУЛИМ
103.     END_IF
104.     //КОНЕЦ ПРОГРАММЫ.
```