

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Выполнение лабораторных работ

Методические указания для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки
15.03.04 — Автоматизация технологических процессов и производств

Составители:
И. А. Ашихмина
Т. Ю. Игнатьева

Санкт-Петербург
2024

Утверждено
на заседании кафедры АТПиП
15.02.2024 г., протокол № 4

Рецензент Д. А. Ковалев

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В методических указаниях представлен порядок выполнения и оформления лабораторных работ. Приведены примеры расчета характеристик элементов систем автоматического управления и оценки точности регулирования. Рассмотрены варианты контроля расхода жидкости с помощью мерной диафрагмы, счетчика-расходомера и электромагнитного расходомера, а также управление расходом жидкости клапаном и задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 Овен.

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве
методических указаний

Редактор и корректор Д. А. Романова
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2022 г., поз. 5033

Подписано к печати 02.05.2024.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ. л. 1,9	Уч.-изд. л. 1,9.
Тираж 30 экз. (1 завод)	Изд. № 5033.	Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	4
1.1. Устройство стенда.....	4
1.2. Меры безопасности.....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Понятие о статических и динамических характеристиках элементов систем автоматического управления	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Экспериментальное определение напорной и кавитационной характеристик центробежного насоса при различных частотах вращения вала насоса	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Тарировка электромагнитного расходомера, счётчика-расходомера объёмного типа и измерительной диафрагмы.....	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Исследование расходно-перепадной характеристики пропорционального клапана, пропорциональной задвижки и дискретной задвижки.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью мерной диафрагмы, управление подачей жидкости клапаном с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью мерной диафрагмы, управление подачей жидкости задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН	20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью счетчика-расходомера, управление подачей жидкости клапаном с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью счетчика-расходомера, управление подачей жидкости задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью электромагнитного расходомера, управление подачей жидкости клапаном с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью электромагнитного расходомера, управление подачей жидкости задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН	28
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	30

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1.1. Устройство стенда

Стенд учебный «Автоматическое управление расходом, давлением и уровнем жидкости» АУ-РДУЖ-010-49ЛР-01 включает в себя (рис. 1-2, табл. 1.1):

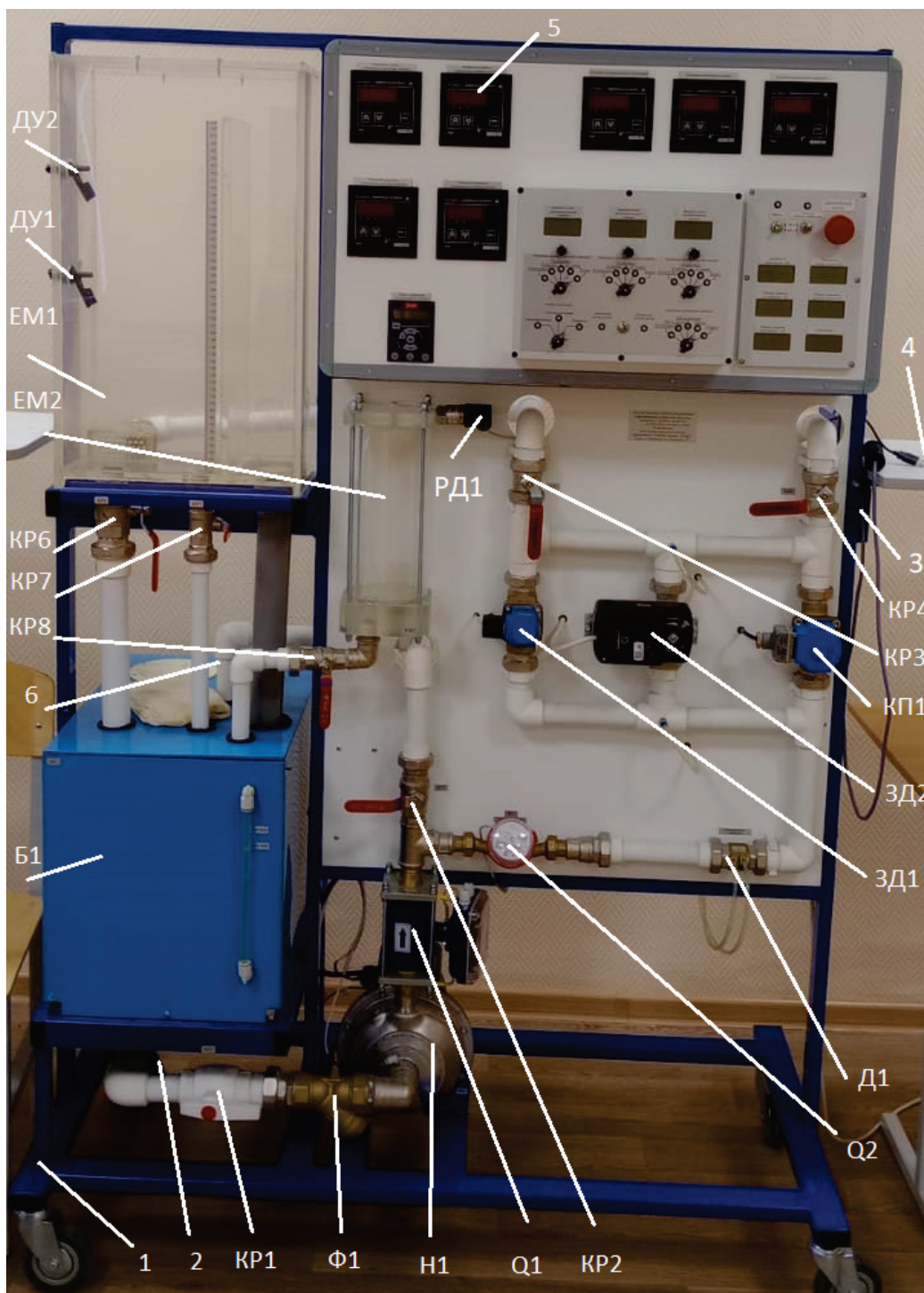


Рисунок 1 – Стенд. Вид спереди

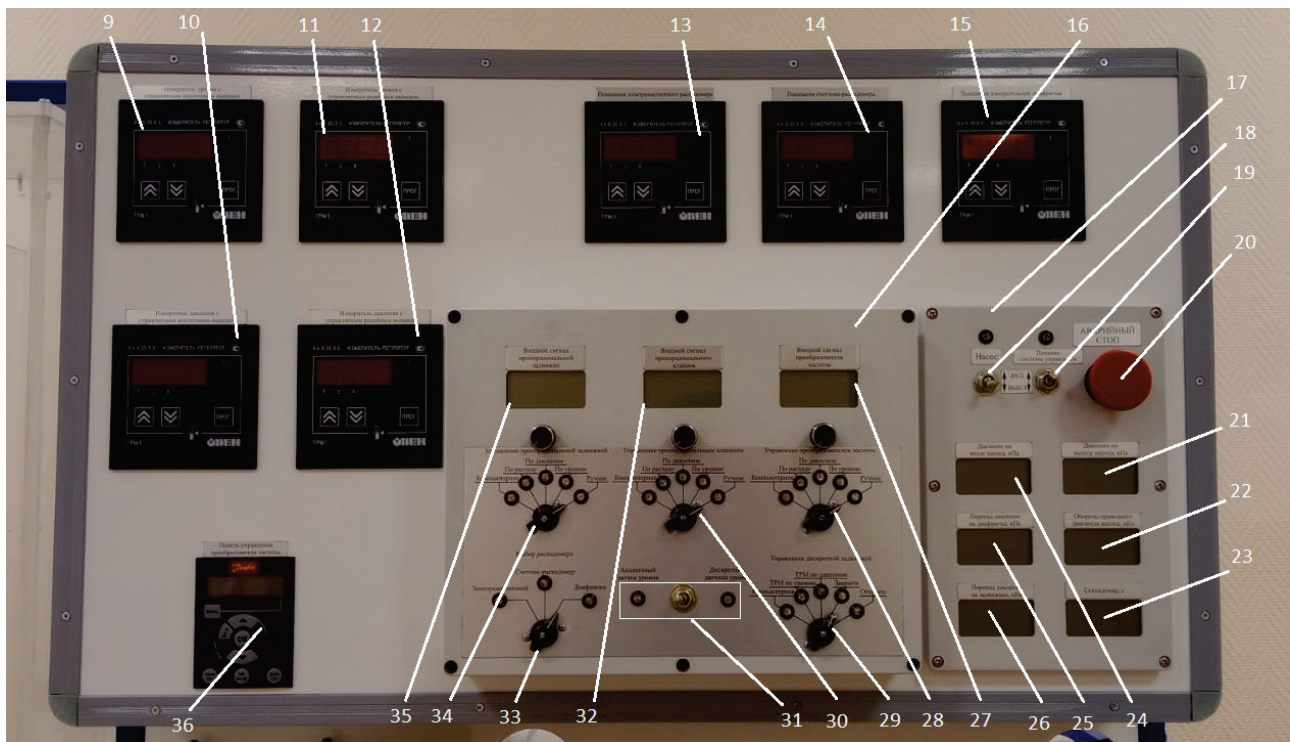


Рисунок 2 – Панель с контрольно-измерительной аппаратурой

1	Рама стенда
2	Бак, заполненный водой
3	Кнопка ручного секундомера
4	Откидная полка для установки ноутбука
5	Панель с контрольно-измерительной и регулирующей аппаратурой
6	Заливная горловина
9	Измеритель-регулятор с аналоговым выходным сигналом, отображающий уровень жидкости в емкости EM1 в миллиметрах
10	Измеритель-регулятор с аналоговым выходным сигналом, подключенный к датчику (ДД5) давления жидкости в емкости EM2 и отображающий давление в кПа
11	Измеритель-регулятор с релейным выходом. Выбор входного сигнала осуществляется тумблером (31): При выборе аналогового датчика (ДД4) измеритель-регулятор отображает уровень жидкости в емкости в миллиметрах
12	Измеритель-регулятор с релейным выходом, образующий вместе с датчиком давления цифровое реле давления РД1
13	Измеритель-регулятор с аналоговым выходным сигналом, подключенный к электромагнитному расходомеру Р1 и отображающий расход в л/мин
14	Измеритель-регулятор с аналоговым выходным сигналом, подключенный к счетчику-расходомеру Р2 и отображающий расход в л/мин
15	Измеритель-регулятор с аналоговым выходным сигналом, подключенный к датчику перепада давления на диафрагме Д1 и отображающий расход в л/мин

18	Тумблер для включения питания преобразователя частоты.
19	Тумблер для включения питания системы управления стенда.
20	Кнопка с фиксацией для аварийного отключения электропитания стенда
21	Индикатор, отображающий давление в линии нагнетания насоса
22	Индикатор, отображающий обороты приводного вала насоса
23	Индикатор, отображающий показания секундомера с ручным управлением
24	Индикатор, отображающий давление в линии всасывания насоса
25	Индикатор, отображающий перепад давления на диафрагме
26	Индикатор, отображающий перепад давления на регулируемых задвижках
27	Цифровой индикатор входного сигнала на преобразователь частоты. Под индикатором размещен потенциометр для задания величины сигнала в ручном режиме
28	Переключатель выбора вида управления преобразователем частоты.
29	Переключатель для выбора вида управления дискретной задвижкой.
30	Переключатель для выбора вида управления пропорциональным клапаном.
31	Тумблер для выбора входного сигнала на измеритель-регулятор (11)
32	Цифровой индикатор входного сигнала на пропорциональный клапан, с ручным потенциометром
33	Переключатель для выбора измерителя-регулятора (управление по расходу)
34	Переключатель для выбора вида управления пропорциональной задвижкой,
35	Цифровой индикатор входного сигнала на пропорциональную задвижку, с ручным потенциометром
36	Панель управления преобразователем частоты

Основные элементы системы контроля и регулирования

КР1,КР2, КР3,КР4, КР5,КР6, КР7	Краны для подачи жидкости	РД1	Реле давления
Ф1	Фильтр жидкости	ДД1,ДД2, ДД5, ДД6	Датчики давления
Д1	Измерительная диафрагма.	ДД3	Дифференциальный датчик давления
ЗД2	Задвижка с аналоговым электромагнитным управлением	ДД4	Гидростатический датчик давления
ЗД1	Задвижка с дискретным электромагнитным управлением	РД1	Датчик цифрового реле давления

КП1	Клапан пропорциональный с электромагнитным управлением	ДУ2	Верхний дискретный поплавковый датчик уровня
Н1	Насос с частотным преобразователем	Q1	Расходомер электромагнитный на выходе насоса
Б1	Бак Б1	Q2	Счетчик-расходомер объёмного типа
ЕМ1	Контрольно-измерительная ёмкость		
ЕМ2	Контрольно-измерительная ёмкость		

На рисунке 3 представлена функциональная схема автоматизации станда.

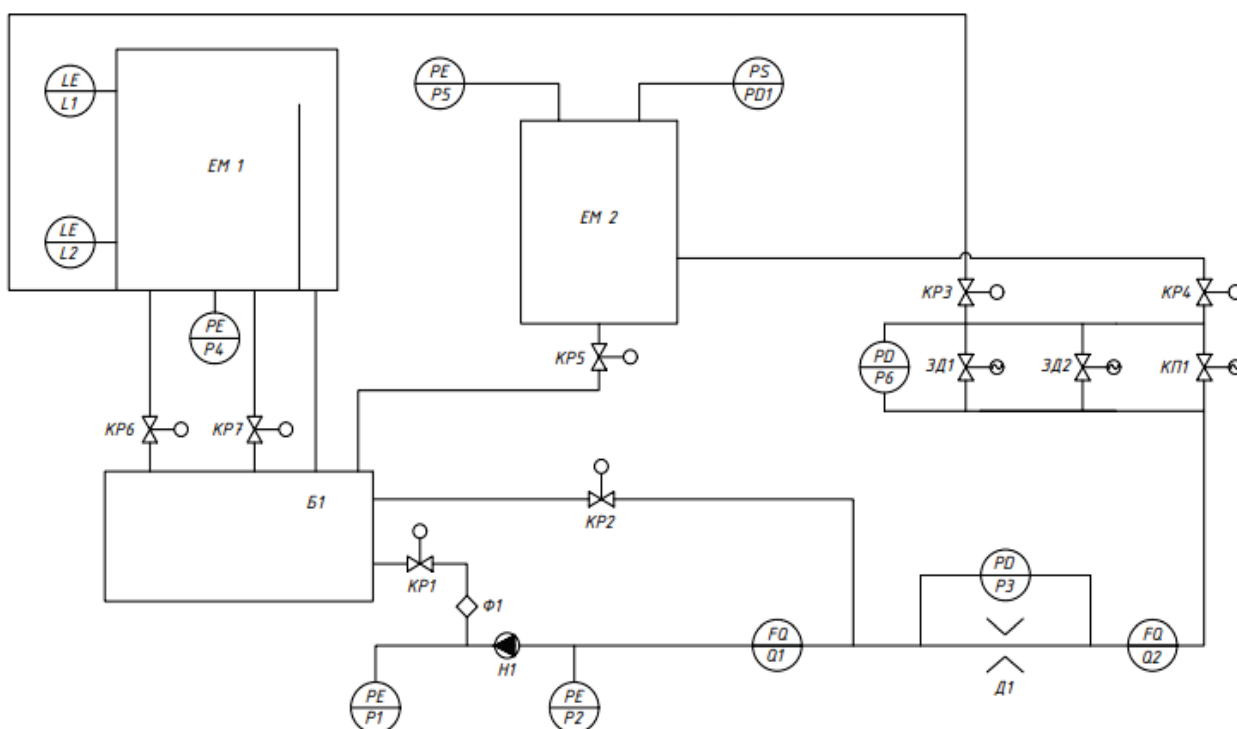


Рисунок 3 – Функциональная схема автоматизации станда

Рабочая жидкость (вода) центробежным насосом Н1 нагнетается в систему из бака Б1. На всасывании насоса установлен кран КР1, позволяющий создать дополнительное сопротивление на всасывании насоса. **Запрещается включение насоса с закрытым краном КР1.** Для измерения расхода жидкости, подаваемой насосом, установлен расходомер Р1. Кран КР2 предназначен для слива жидкости из линии нагнетания насоса в бак Б1 и используется при построении характеристики насоса. Для измерения расхода жидкости, поступающей к контрольным емкостям, в системе установлены измерительная диафрагма Д1 и счётчик-расходомер Р2. Кран КР4 позволяет перекрыть поступление рабочей жидкости в емкость ЕМ1. Кран КР3 позволяет

перекрыть поступление рабочей жидкости в емкость ЕМ2. Кран КР5 позволяет слить рабочую жидкость из емкости КР2 в бак Б1. Краны КР6 и КР7 позволяют слить рабочую жидкость из емкости ЕМ1 в бак Б1. Задвижка с дискретным управлением ЗД1, задвижка с пропорциональным электромагнитным управлением ЗД2 и пропорциональный клапан КП1 позволяют реализовать различные схемы автоматического управления.

1.2. Меры безопасности

Эксплуатация стендов должна производиться в соответствии с требованиями пожарной безопасности и требованиями ГОСТ 12.2.2003-74 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

Перед включением насосов необходимо убедиться, в том, что:

- кран КР1 полностью открыт;
- стенд заправлен рабочей жидкостью;
- трубопроводы и гибкие рукава не имеют внешних повреждений и смятий.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Понятие о статических и динамических характеристиках элементов систем автоматического управления

Цель работы: экспериментальное изучение статической и динамической характеристик различных элементов САУ.

Статической характеристикой элемента называют зависимость установившегося значения выходного сигнала элемента от значения постоянного входного сигнала (1.1):

$$y=F(x). \quad (1.1)$$

Динамической характеристикой элемента называют зависимость выходного сигнала от величины входного сигнала и времени (2.1.2):

$$y=F(t,x). \quad (1.2)$$

Экспериментальная динамическая характеристика, как правило, используется для формирования математической модели объекта в виде набора стандартных динамических звеньев. Для этой цели экспериментально регистрируют реакцию элемента на ступенчатое входное воздействие и/или на гармоническое входное воздействие.

В лабораторной работе экспериментально измеряется статическая характеристика измерительной диафрагмы и динамическая характеристика расходомера.

Экспериментальная часть

Часть 1. Статическая характеристика измерительной диафрагмы

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Тарировка расходомеров».
3. Выбрать в качестве расходомера мерную диафрагму, в качестве измерителя расхода выбрать «ЭМ расходомера».
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 1.1. Подождать 30–40 секунд для выхода пропорциональной задвижки в заданное положение.
5. Открыть краны КР1, КР3, КР4, КР5, КР6, КР7. Закрыть кран КР2.
6. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
7. Дождаться установившихся значений расхода по ЭМ расходомеру Р1 и перепада давления на диафрагме (может занять 40–60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку».

Таблица 1.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	
Выбор расходомера	Диафрагма	

8. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональный клапан на 8–10 единиц.

9. Повторить действия по пп. 7–8 до управляющего сигнала 5–7 единиц.

10. Полностью открыть пропорциональный клапан (сигнал 100).

11. Выключить приводной электродвигатель насоса Н1 (Off/Reset).

12. В диалоговом окне программы «Вычислить коэффициент».

В текстовом поле появится значение тарифовочного коэффициента диафрагмы и на графическом поле будет нарисована зависимость расхода через диафрагму от перепада давления, соответствующая этому коэффициенту.

13. Проанализировать полученные экспериментальные точки и их расположение относительно непрерывной кривой. Сделать выводы.

Часть 2. Динамическая характеристика расходомера

1. В программе: «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».

2. Установить положения переключателей, указанные в таблице 1.2:

Таблица 1.2 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	
Выбор расходомера	Диафрагма	

3. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закрото краны КР2, КР4.

4. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).

5. Уменьшая ручным регулятором управляющий сигнал на пропорциональный клапан, установить значение расхода по диафрагме 15-18 л/мин (отображается в диалоговом окне).

6. В программе выбрать построение зависимости расхода по Р1 («Q по ЭМ расходомеру»)/ от времени, и расхода по диафрагме Д1 («Q по мерной диафрагме»)/от времени.

7. Выбрать динамический режим измерений, шаг сбора данных 0,4 с.

8. Дождаться установившегося значения расхода по расходомеру Р1

9. В программе запустить измерения.
10. Плавно и быстро закрыть кран КРЗ.
11. Дождаться установившегося значения расхода (40–60 с).
12. Плавно и быстро открыть кран КРЗ.
13. Дождаться установившегося значения расхода (40–60 с).
14. Остановить измерения. Сохранить график и данные.
15. Увеличить значение расхода по диафрагме на 5–7 л/мин, увеличивая ручным регулятором управляющий сигнал на пропорциональную задвижку.
16. Повторить пункты 8–15 до полного открытия пропорциональной задвижки.
17. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).
18. Выключить питание преобразователя частоты тумблером «насос».
19. Закрыть программу и выключить питание стенда.
20. Проанализировать полученные экспериментальные данные по расходу, измеряемому по диафрагме и по расходомеру. Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Экспериментальное определение напорной и кавитационной характеристик центробежного насоса при различных частотах вращения вала насоса

Цель работы: экспериментальное построение напорных и кавитационных характеристик центробежного насоса для различных частот вращения приводного вала.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. Установить положения переключателей, указанные в таблице 2.1:

Таблица 2.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	

Определение напорной характеристики

4. Открыть краны КР1, КР2, КР3, КР5, КР6, КР7. Закрыть кран КР4.
5. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
6. В программе выбрать «Статический режим измерений», построить зависимости по ЭМ расходомеру:
 - Перепад давления/ расход.
 - Давление нагнетания/ расход.
7. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру Р1 (может занять 40–60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку».
8. Повернуть ручку КР2 в сторону закрытия на 15–20 градусов.
9. Повторить действия по пп. 8–9 до полного закрытия КР2.
10. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональный клапан на 8–10 единиц.
11. Дождаться установившегося значения расхода по расходомеру Р1 (может занять 40–60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку».
12. Повторить пп. 11–12 до управляющего сигнала 5-7 единиц.
13. Установить ручным регулятором сигнал управления равный 100. Открыть кран КР2.
14. Сохранить данные и график. Нажать кнопку «Удалить все точки».
15. На преобразователе частоты установить значение сигнала управления равным 80 (частота на панели преобразователя должна равняться 40 ± 2 Гц).

16. Повторить действия по пп. 8–16 для значений управляющего сигнала 80, 60 и 40 (частота вращения вала насоса 40 Гц, 30 Гц, 20 Гц).
17. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).

Определение кавитационной характеристики

18. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закрыть кран КР2, КР4.
19. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
20. В программе выбрать «Статический режим измерений».
21. Построить зависимость Давление нагнетания / давление всасывания
22. Уменьшая ручным регулятором сигнал на пропорциональный клапан, установить расход равным 40 ± 2 л/мин. Нажать кнопку «Добавить точку».
23. Плавно закрывая кран КР1, уменьшить давление на всасывании насоса Н1 на 8–10 кПа.
24. Изменяя ручным регулятором сигнал на пропорциональный клапан, установить расход равным 40 ± 2 л/мин. Нажать кнопку «Добавить точку».
25. Повторить пункты 21–23 до давления всасывания -80...-85 кПа или невозможности поддержания расхода.
26. Полностью открыть кран КР1. Установить ручным регулятором сигнал управления равный 100.
27. Сохранить данные и график. Нажать кнопку «Удалить все точки».
28. Повторить пункты 21–27 для расходов 30 ± 2 л/мин и 20 ± 2 л/мин.
29. Установить значение сигнала управления на преобразователь частоты равным 80 (частота, отображаемая на панели преобразователя частоты, должна равняться 40 Гц).
30. Повторить пункты 21–29 для значений управляющего сигнала 80, 60 (частота вращения вала насоса 40 Гц, 30 Гц).
31. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).
32. Выключить питание преобразователя частоты.
33. Выключить питание системы управления стенда.
34. По полученным данным построить зависимости:
 - Максимального напора насоса от частоты вращения вала приводного двигателя.
 - Минимального давления всасывания от частоты вращения вала приводного двигателя для каждого значения расхода.
35. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тарировка электромагнитного расходомера, счётчика-расходомера объёмного типа и измерительной диафрагмы

Цель работы: экспериментальное изучение статической характеристики электромагнитного расходомера, счетчика-расходомера с унифицированным импульсным сигналом, измерительной диафрагмы, определение цены импульса, определение тарифовочного коэффициента диафрагмы.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «АУ-РДУЖ измерения».

Тарировка электромагнитного расходомера

3. В программе: «Режим работы» → «Тарировка расходомеров».
4. Выбрать в качестве расходомера «ЭМ расходомер», в качестве измерителя расхода выбрать «Мерная емкость».
5. Установить положения переключателей, указанные в таблице 3.1. Подождать 30–40 сек. для выхода задвижки в заданное положение.

Таблица 3.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закр.то	
Выбор расходомера	ЭМ расходомер	

6. Открыть краны КР1, КР3, КР6. Закр.то краны КР2, КР4, КР5, КР7.
7. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
8. Дождаться установившегося значения частоты импульсов, поступающих с расходомера.
9. Закр.то кран КР6, дождаться уровня жидкости ЕМ1 – 200 мм, нажать и удерживать кнопку ручного секундомера.
10. Дождаться уровня жидкости в ЕМ1 – 400 мм и отпустить кнопку ручного секундомера. Открыть кран КР6.
11. В диалоговом окне программы ввести в поле «Контрольный объем, л» значение 9.0 (площадь мерной емкости 4,5 дм²), в поле «Расход» появится вычисленное значение среднего расхода жидкости за время набора емкости. Нажать кнопку «Добавить точку».
12. Уменьшить управляющий сигнал на пропор. клапан на 8–10 единиц.
13. Повторить пункты 8–12 до управляющего сигнала 5–7 единиц.

14. Полностью открыть пропорциональный клапан, установив ручным регулятором сигнал управления равным 100.
15. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).
16. В программе: «Вычислить коэффициент» в текстовом поле появится значение коэффициента расходомера K , равного отношению расхода (л/мин) к частоте импульсов (Гц).
17. По полученному значению рассчитать цену импульса.
18. Сравнить полученную цену импульса с паспортной: 1 импульс=0,008л.
19. Сделать выводы.

Тарировка счётчика-расходомера

20. Выбрать в качестве расходомера «Счетчик-расходомер», в качестве измерителя расхода выбрать «Мерная емкость».
21. Установить положения переключателей, указанные в таблице 3.2:
22. Повторить действия по пп. 6-18.

Таблица 3.2 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	
Выбор расходомера	Счетчик-расходомер	

Тарировка измерительной диафрагмы

23. Выбрать в качестве расходомера «Счетчик-расходомер», в качестве измерителя расхода выбрать «Мерная емкость».
24. Установить положения переключателей указанные в таблице 3.3:
25. Повторить действия по пп. 6–16.
26. Проанализировать отклонение экспериментальных точек от полученной кривой. Определить диапазон расходов, при которых ошибка измерения не превышает 5 %. Сделать выводы.
27. Выключить питание преобразователя частоты, закрыть программу и выключить питание стенда.

Таблица 3.3 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	
Выбор расходомера	Счетчик-расходомер	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Исследование расходно-перепадной характеристики пропорционального клапана, пропорциональной задвижки и дискретной задвижки

Цель работы: экспериментальное построение предельной расходно-перепадной характеристики пропорциональной и дискретной задвижки, изучение зависимости расхода через задвижку от сигнала управления при постоянном перепаде давления.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».

Зависимость от расхода

3. В программе выбрать: «Статический режим измерений».
4. Построить зависимость: Перепада давления на задвижках от расхода по P1.
5. Установить положения переключателей, указанные в таблице 4.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 4.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	

6. Открыть краны КР1, КР3, КР6, КР7. Закрыть кран КР2, КР4, КР5.
7. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
8. Дождаться установившихся значений расхода по расходомеру P1 (может занять 40–60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку».
9. Уменьшить расход через клапан на 4–5 л/мин, закрывая кран КР3.
10. Повторить действия по пп. 8–9 до значений расхода 3–5 л/мин.
11. Сохранить данные и график. Нажать кнопку «Удалить все точки».

Зависимость от управляющего сигнала

12. В программе выбрать: «Статический режим измерений». Построить зависимость: расхода по расходомеру P1 от управляющего сигнала на задвижку
13. Изменяя открытие крана КР3, добиться перепада давления на задвижке равным 50 ± 2 кПа.
14. Дождаться установившихся значений расхода (может занять 40–60 с), после чего нажать кнопку «Добавить точку».

15. Уменьшить управляющий сигнал на пропорциональную задвижку на 8–10 единиц.
16. Повторить действия по пп. 13–15 до управляющего сигнала 15–20 единиц.
17. Полностью открыть пропорциональную задвижку, установив ручным регулятором сигнал управления равным 100.
18. Сохранить данные и график.
19. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).
20. Выключить питание преобразователя частоты.
21. Закрыть программу и выключить питание стенда.
22. Проанализировать полученные экспериментальные данные. Сделать выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью мерной диафрагмы, управление подачей жидкости клапаном с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН

Цель работы: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональным клапаном с целью поддержания постоянного расхода жидкости; анализ переходных процессов.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. Выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных – 0,4 с. В качестве отображаемых на графике параметров выбрать зависимость расхода по диафрагме от времени.
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 5.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 5.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрыто	
Выбор расходомера	Мерная диафрагма	

5. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закрыть краны КР2, КР4.
6. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
7. Постепенно закрывать кран КР3 до положения, при котором расход жидкости станет равным 30 ± 2 л/мин.
8. Установить на ТРМ отображающем «Показания измерительной диафрагмы» следующие значения:
 - значение уставки давления $Q_{уст}$ из диапазона 20–25 л/мин;
 - величину зоны пропорциональности $\Delta=20$;
 - записать значения параметров в таблицу 5.2.
9. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».
10. Перевести переключатель выбора измерителя-регулятора, осуществляющего управление по расходу, в положение «Диафрагма», переключатель вида управления пропорциональным клапаном – в режим «По расходу». При этом начнется регулирование сигнала на клапан от ТРМ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью мерной диафрагмы, управление подачей жидкости задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН

Цель работы: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональной задвижкой с целью поддержания постоянного расхода жидкости; анализ переходных процессов.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. В качестве отображаемых на графике параметров выбрать зависимость расхода по диафрагме от времени.
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 6.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 6.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	100
Управление пропорциональным клапаном		0
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закр.то	
Выбор расходомера	Мерная диафрагма	

5. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закр.то краны КР2, КР4.
6. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
7. Постепенно закр.то кран КР3 до положения, при котором расход жидкости станет равным 30 ± 2 л/мин.
8. Установить на ТРМ отображающем «Показания измерительной диафрагмы» следующие значения:
 - Значение уставки давления $Q_{уст}$ из диапазона 20–25 л/мин.
 - Величину зоны пропорциональности $\Delta=20$.
 - Записать значения параметров в таблицу 6.2.
9. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».
10. Перевести переключатель выбора измерителя-регулятора, осуществляющего управление по расходу, в положение «Диафрагма», переключатель вида управления пропорциональной задвижкой – в режим «По

расходу». При этом начнется регулирование сигнала на привод задвижки от ТРМ.

11. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 6.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

12. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 6.2.

13. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».

14. Полностью открыть кран КРЗ.

15. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 6.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

16. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 6.2.

17. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «Ручной». Задать значение сигнала равным 100.

18. Повторить действия по пп.8–18 для значений величины зоны пропорциональности $\Delta = 15; 10; 5$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек).

19. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).

20. Выключить питание преобразователя частоты.

21. Закрыть программу и выключить питание стенда.

22. Сделать выводы о влиянии параметров ПИД регулирования на ошибку регулирования и устойчивость системы.

Таблица 6.2. – Результаты измерений

КРЗ	$Q_{уст}$, л/мин	Δ , л/мин	Q_{Φ} , л/мин	$e_{ст}$, л/мин	$e_{дин}$, л/мин	$t_{уст}$, с
<i>Управление пропорциональной задвижкой</i>						

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью счетчика-расходомера, управление подачей жидкости клапаном с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН

Цель работы: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональным клапаном с целью поддержания постоянного расхода жидкости; анализ переходных процессов.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. В качестве отображаемых на графике параметров выбрать зависимость расхода по счетчику-расходомеру от времени.
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 7.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 7.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрото	

5. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закрото краны КР2, КР4.
6. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
7. Постепенно закрывать кран КР3 до положения, при котором расход жидкости станет равным 30 ± 2 л/мин.
8. Установить на ТРМ отображающем «Показания счетчика-расходомера» следующие значения:
 - значение уставки давления $Q_{уст}$ из диапазона 20–25 л/мин;
 - величину зоны пропорциональности $\Delta=20$;
 - записать значения параметров в таблицу 7.2.
9. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».
10. Перевести переключатель выбора измерителя-регулятора, осуществляющего управление по расходу, в положение «Счетчик-расходомер», переключатель вида управления пропорциональным клапаном – в режим «По расходу». При этом начнется регулирование сигнала на клапан от ТРМ.

11. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 7.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

12. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 7.2.

13. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».

14. Полностью открыть кран КРЗ.

15. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 7.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

16. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 7.2.

17. Перевести переключатель вида управления пропорциональным клапаном в режим «Ручной». Задать значение сигнала равным 100.

18. Повторить действия по пп.8–18 для значений величины зоны пропорциональности $\Delta = 15; 10; 5$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек).

19. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).

20. Выключить питание преобразователя частоты.

21. Закрывать программу и выключить питание стенда.

22. Сделать выводы о влиянии параметров ПИД регулирования на ошибку регулирования и устойчивость системы.

Таблица 7.2. – Результаты измерений

КРЗ	$Q_{уст}$, л/мин	Δ , л/мин	Q_{Φ} , л/мин	$e_{ст}$, л/мин	$e_{дин}$, л/мин	$t_{уст}$, с
<i>Управление пропорциональным клапаном</i>						

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью счетчика-расходомера, управление подачей жидкости задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН

Цель работы: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональной задвижкой с целью поддержания постоянного расхода жидкости; анализ переходных процессов.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 0,4 с. В качестве отображаемых на графике параметров выбрать зависимость расхода по счетчику-расходомеру от времени.
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 8.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 8.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	100
Управление пропорциональным клапаном		0
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закр.то	

5. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закр.то краны КР2, КР4.
6. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
7. Постепенно закр.то кран КР3 до положения, при котором расход жидкости станет равным 30 ± 2 л/мин.
8. Установить на ТРМ отображающем «Показания счетчика-расходомера» следующие значения:
 - значение уставки давления $Q_{уст}$ из диапазона 20–25 л/мин;
 - величину зоны пропорциональности $\Delta=20$;
 - записать значения параметров в таблицу 8.2.
9. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».
10. Перевести переключатель выбора измерителя-регулятора, осуществляющего управление по расходу, в положение «Счетчик-расходомер», переключатель вида управления пропорциональной задвижкой – в режим «По расходу». При этом начнется регулирование сигнала на привод задвижки от ТРМ.

11. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 8.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

12. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 8.2.

13. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».

14. Полностью открыть кран КРЗ.

15. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 8.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

16. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 8.2.

17. Перевести переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим «Ручной». Задать значение сигнала равным 100.

18. Повторить действия по пп.8–18 для значений величины зоны пропорциональности $\Delta = 15; 10; 5$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек).

19. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).

20. Выключить питание преобразователя частоты.

21. Закрыть программу и выключить питание стенда.

22. Сделать выводы о влиянии параметров ПИД регулирования на ошибку регулирования и устойчивость системы.

Таблица 8.2. – Результаты измерений

КРЗ	$Q_{уст}$, л/мин	Δ , л/мин	Q_{Φ} , л/мин	$e_{ст}$, л/мин	$e_{дин}$, л/мин	$t_{уст}$, с
<i>Управление пропорциональной задвижкой</i>						

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью электромагнитного расходомера, управление подачей жидкости клапаном с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОВЕН

Цель работы: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональным клапаном с целью поддержания постоянного расхода жидкости; анализ переходных процессов.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 2 с. В качестве отображаемых на графике параметров выбрать зависимость расхода по электромагнитному расходомеру от времени.
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 9.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 9.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	0
Управление пропорциональным клапаном		100
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закрывается	

5. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закрывать краны КР2, КР4.
6. Включить насос и питание частотного преобразователя (Auto/On).
7. Постепенно закрывать кран КР3 до положения, при котором расход жидкости станет равным 30 ± 2 л/мин.
8. Установить на ТРМ отображающем «Показания электромагнитного расходомера» следующие значения:
 - значение уставки давления $Q_{уст}$ из диапазона 20–25 л/мин;
 - величину зоны пропорциональности $\Delta=20$;
 - записать значения параметров в таблицу 9.2.
9. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».
10. Перевести переключатель выбора измерителя-регулятора, осуществляющего управление по расходу в положение «Электромагнитный», переключатель вида управления пропорциональным клапаном в режим «По расходу». При этом начнется регулирование сигнала на клапан от ТРМ.

11. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 9.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

12. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 9.2.

13. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».

14. Полностью открыть кран КРЗ.

15. Дождаться установившегося значения расхода Q_{Φ} жидкости, записать в таблицу 9.2. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Остановка измерения». Сохранить полученные графики и данные в файл.

16. Определить величину статической $e_{ст}$ и динамической $e_{дин}$ ошибки, время выхода на установившееся значение $t_{уст}$ и записать в таблицу 9.2.

17. Перевести переключатель вида управления пропорциональным клапаном в режим «Ручной». Задать значение сигнала равным 100.

18. Повторить действия по пп.8–18 для значений величины зоны пропорциональности $\Delta = 15; 10; 5$ (установившийся режим может получиться не для всех настроек).

19. Выключить приводной электродвигатель (Off/Reset).

20. Выключить питание преобразователя частоты.

21. Закрывать программу и выключить питание стенда.

22. Сделать выводы о влиянии параметров ПИД регулирования на ошибку регулирования и устойчивость системы.

Таблица 9.2. – Результаты измерений

КРЗ	$Q_{уст}$, л/мин	Δ , л/мин	Q_{Φ} , л/мин	$e_{ст}$, л/мин	$e_{дин}$, л/мин	$t_{уст}$, с
<i>Управление пропорциональным клапаном</i>						

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Контроль расхода жидкости, поступающей в контрольно-измерительную емкость с помощью электромагнитного расходомера, управление подачей жидкости задвижкой с аналоговым управлением и регулятором ТРМ1 ОБЕН

Цель работы: экспериментальная настройка измерителя-регулятора типа ТРМ1 для управления пропорциональной задвижкой с целью поддержания постоянного расхода жидкости; анализ переходных процессов.

Экспериментальная часть

1. Включить электропитание стенда.
2. На ноутбуке запустить программу «АУ-РДУЖ измерения» → «Режим работы» → «Регистрация и аналоговое управление».
3. В диалоговом окне программы выбрать «Динамический режим измерений», шаг сбора данных установить равным 2 с. В качестве отображаемых на графике параметров выбрать зависимость расхода по электромагнитному расходомеру от времени.
4. Установить положения переключателей, указанные в таблице 10.1. Подождать 30–40 секунд для выхода задвижек в заданное положение.

Таблица 10.1 – Положения переключателей

Переключатель	Положение	Величина сигнала
Управление пропорциональной задвижкой	Ручное	100
Управление пропорциональным клапаном		0
Управление преобразователем частоты		100
Управление дискретной задвижкой	Закр.ито	

5. Открыть краны КР1, КР3, КР5, КР6, КР7. Закр.ито краны КР2, КР4.
6. Включить тумблером насос питание частотного преобразователя. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto/On».
7. Постепенно закр.ито кран КР3 до положения, при котором расход жидкости станет равным 30 ± 2 л/мин.
8. Установить на ТРМ отображающем «Показания электромагнитного расходомера» следующие значения:
 - значение уставки давления $Q_{уст}$ из диапазона 20–25 л/мин;
 - величину зоны пропорциональности $\Delta=20$;
 - записать значения параметров в таблицу 10.2.
9. В диалоговом окне программы нажать кнопку «Запуск измерения».
10. Перевести переключатель выбора измерителя-регулятора, осуществляющего управление по расходу в положение «Электромагнитный», переключатель вида управления пропорциональной задвижкой в режим

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рогов, В. А. Средства автоматизации и управления: учебник для вузов / В. А. Рогов, А. Д. Чудаков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 352 с. – Текст: непосредственный.
2. Моргунов, К. П. Гидравлика: учебник для вузов / К. П. Моргунов – СПб: Издательство «Лань», 2014. – 288 с. – Текст: непосредственный.
3. ООО НПП «Учтех-Профи» Стенд АУ-РДУЖ-010-49ЛР-01 : паспорт. – Текст: непосредственный.
4. ООО НПП «Учтех-Профи» Стенд АУ-РДУЖ-010-49ЛР-01 : руководство по эксплуатации. – Текст: непосредственный.
5. ООО НПП «Учтех-Профи» Стенд АУ-РДУЖ-010-49ЛР-01 : описание лабораторных работ. – Текст: непосредственный.
6. ТРМ1 измеритель-регулятор одноканальный // ОВЕН : [сайт]. – 2024. – URL: <https://owen.ru/product/trm1> (дата обращения: 01.02.2024). – Текст: электронный.
7. Плетнев, Г. П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике : учебник для вузов / Г. П. Плетнев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 351 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19575286> (дата обращения: 01.03.2024). – Режим доступа: ЭБС eLIBRARY. – Текст: электронный.
8. Фрер, Ф. Введение в электронную технику регулирования / Ф. Фрер, Ф. Орттенбургер. – пер. с нем. – М.: Энергия, 1973. – 192 с. – Текст: непосредственный.