

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

**МЕТРОЛОГИЯ,
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
И ОБСЛЕДОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ
И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений образования, обеспечивающих получение
углубленного высшего образования по специальности
7-06-0811-03 Мелиорация, рекультивация и охрана земель*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 006.91:626.8(075.8)
ББК 40.6я73
М54

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета
24.03.2025 (протокол № 7)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
26.03.2025 (протокол № 8)*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Ю. Н. Дуброва*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. С. Кукреш*;
кандидат технических наук, доцент *А. А. Боровиков*;
кандидат технических наук, доцент *Д. В. Яланский*;
кандидат технических наук *И. А. Романов*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *О. П. Мешик*;
директор ГП «Витебскгипроводхоз» *М. С. Самохвалов*

Метрология, контроль качества и обследование мелиоративных и водохозяйственных систем. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / Ю. Н. Дуброва, А. С. Кукреш, А. А. Боровиков [и др.]. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 102 с.
ISBN 978-985-882-659-8.

Лабораторный практикум содержит двенадцать лабораторных работ, которые включают в себя необходимые теоретические материалы и контрольные вопросы для подготовки к защите выполненных работ. Предназначен для закрепления теоретических основ метрологии, методов измерений, порядка проведения измерений значений физических величин и правил обработки результатов измерений, оценивания неопределенности измерений, нормативно-правовых основ метрологии, а также теоретических положений деятельности по стандартизации, принципов построения и правил пользования стандартами, комплексами стандартов и другой нормативной документацией.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение углубленного высшего образования по специальности 7-06-0811-03 Мелиорация, рекультивация и охрана земель.

УДК 006.91:626.8(075.8)
ББК 40.6я73

ISBN 978-985-882-659-8

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Одним из признаков технического совершенства проектов реконструкции мелиоративных систем или объектов обустройства территорий является их автоматизация в той или иной степени, так как применение автоматики в наибольшей степени дает эффект энергоресурсосбережения, является убедительным признаком современности проектов.

Лабораторный практикум написан в соответствии с программой дисциплины «Метрология, контроль качества и обследование мелиоративных и водохозяйственных систем» для магистрантов, обучающихся по специальности 7-06-0811-03 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, и служит для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков.

Учебно-методическое пособие предусматривает выполнение двенадцати лабораторных работ по основным разделам дисциплины: метрология упаковочного производства; стандартизация и сертификация в упаковочной промышленности; управление качеством по специальности и работы над дипломным проектом.

Лабораторный практикум по дисциплине «Метрология, контроль качества и обследование мелиоративных и водохозяйственных систем» направлен на выработку у студентов начальных навыков применения преобразователей информации для измерения физических величин. Наличие таких навыков способствует формированию профессиональных компетенций, связанных со способностью выполнять проектирование блоков и устройств автоматики, разрабатывать программное обеспечение, необходимое для решения задач управления и обработки информации. Лабораторный практикум содержит 9 работ, выполняемых на специальных учебных стендах. Лабораторные работы выполняются на стендах «Промышленные датчики» (ПД-СР-3) ООО ТД «ПРОФОБРАЗОВАНИЕ» [9]. Перед началом выполнения работы студенты должны изучить принцип действия исследуемых датчиков, познакомиться со схемой включения и используемыми измерительными средствами. Обработку результатов измерений рекомендуется выполнять в соответствии с методическими указаниями [3]. Трудоемкость выполнения каждой лабораторной работы составляет два часа.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К работе в лаборатории допускаются магистранты, изучившие правила охраны труда в учебной лаборатории и прошедшие инструктаж по охране труда. Инструктаж и проверку знаний по охране труда проводит преподаватель, ведущий занятия.

Проведение инструктажа подтверждается подписями лиц, проводивших и прошедших инструктаж, в журнале регистрации инструктажа по охране труда. Магистранты, не прошедшие инструктаж и проверку знаний по охране труда, к работе в лаборатории не допускаются. Им разрешается находиться в лаборатории только в часы, отведенные расписанием, или в дополнительное время, выделенное для самостоятельной подготовки. Все сотрудники лаборатории обязаны выполнять положения и правила техники безопасности и следить за их выполнением студентами.

Перед началом работы студент обязан изучить устройство и принцип действия оборудования и приборов, необходимых для выполнения лабораторной работы и порядок проведения измерений на них. Получить от преподавателя допуск к работе. При выполнении работы с использованием электрических приборов следует помнить, что:

- a) при сборке электрических цепей все соединения необходимо производить исключительно цельными, с неповрежденной изоляцией проводниками, зажимая их в клеммы (соединение путем скрутки проводников не допускаются);
- b) розетки в лаборатории включены в сеть переменного тока с действующим значением напряжения $U = 220 \text{ В}$;
- c) включать приборы или установки можно только с разрешения преподавателя или лаборанта;
- d) следить за тем, чтобы измеряемые величины не превышали значений, допустимых для используемых приборов;
- e) в случае обнаружения чрезмерного нагревания отдельных участков цепи, а тем более появления запаха, немедленно отключить электрическую цепь от сети (источника питания) и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

По окончании работы магистрант должен:

- a) удостовериться в правильности полученных результатов, предъявив их преподавателю;
- b) отключить все приборы от сети, обеспечив видимый разрыв цепей питания лабораторной установки;

- с) привести в порядок свое рабочее место;
- д) сдать лаборанту полученные принадлежности.

Во время занятий в лаборатории магистрантам запрещается:

- а) приступать к работе без разрешения преподавателя или лаборанта;
- б) включать приборы и установки в электрическую сеть (рубильники и переключатели приборов) и проводить измерения без предварительной проверки правильности сборки электрической цепи преподавателем или лаборантом;
- с) изменять схемы и пределы измерения приборов в установках, находящихся под напряжением;
- д) использовать приборы и принадлежности, не предназначенные для выполнения данной работы;
- е) самостоятельно устранять неисправности приборов и оборудования (следует обратиться к преподавателю или лаборанту);
- ф) оставлять без наблюдения приборы и оборудование, находящиеся под напряжением. При несчастном случае необходимо немедленно поставить в известность преподавателя и постараться оказать первую помощь пострадавшему.

Лица, нарушившие правила техники безопасности, несут дисциплинарную, административную и уголовную ответственность в порядке, установленном Законодательством Республики Беларусь.

Лабораторная работа 1. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. СИСТЕМА СИ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: научиться определять соотношение между единицами измерения СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными.

Материалы для выполнения работы: ГОСТ 8.417-2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин».

1.1. Теоретическая часть

1.1.1. Основные термины и понятия

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, и способах достижения требуемой точности.

Физическая величина (ФВ) – характеристика одного из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общая в качественном отношении по многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта. Значение физической величины – оценка ее размера в виде некоторого числа по принятой для нее шкале.

Единица физической величины – ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных ФВ.

Различают основные, производные, кратные, дольные, когерентные (СИ), системные и внесистемные единицы.

Совокупность основных и производных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется системой единиц физических величин. Единица основной ФВ является основной единицей данной системы.

Законодательной основой обеспечения единства измерений является законодательная метрология, включающая в себя закон «Об обеспечении единства измерений» и другие взаимосвязанные 5 законы; указы Президента Республики Беларусь; постановления Правительства Республики Беларусь; постановления и нормативные документы Госстан-

дарт. В качестве основных единиц приняты: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Основные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение	
	Размерность	Рекомендуемое		Размерность	Рекомендуемое
Длина	L	l	Метр	м	m
Масса	M	m	Килограмм	кг	kg
Время	T	t	Секунда	с	s
Сила электрического тока	I	I	Ампер	А	A
Термодинамическая температура	Θ	T	Кельвин	К	K
Количества вещества	N	n, ν	Моль	моль	mol
Сила света	J	J	Кандела	кд	cd

Шкала измерений – это упорядоченная совокупность значений физических величин, которая служит основой для ее измерения. Например, существуют три температурные шкалы: Фаренгейта, Цельсия, Кельвина.

Производная единица – это единица производной ФВ систем единиц, образованная в соответствии с уравнениями, связывающими ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными. Некоторые производные единицы системы СИ, имеющие собственное название, приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Производные единицы системы СИ, имеющие специальные название

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение единицы измерения СИ
1	2	3	4	5
Частота	T^{-1}	Герц	Гц	c^{-1}
Сила, вес	LMT^{-2}	Ньютон	Н	$m \text{ кг } c^{-2}$
Давление, механическое напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Па	$M^{-1} \text{ кг } c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	Джоуль	Дж	$m^2 \text{ кг } c^{-2}$

1	2	3	4	5
Мощность	L^2MT^{-3}	Ватт	Вт	$m^2 kg s^{-3}$
Количество электричества	TI	Кулон	Кл	$C A$
Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	Вольт	В	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	Фарад	Ф	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	Ом	Ом	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	Тесла	Тл	$kg s^{-2} A^{-1}$

Для установления производной единицы следует: выбрать ФВ, единицы которых принимаются в качестве основных; установить размер этих единиц; выбрать определяющее уравнение, связывающее величины, измеряемые основными единицами, с величиной, для которой устанавливается производная единица. При этом символы всех величин, входящих в определяющее уравнение, должны рассматриваться не как сами величины, а как их именованные числовые значения.

Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. Внесистемная единица – это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц. Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяют на 4 вида:

1) допускаемые наравне с единицами СИ, например: единица массы – тонна; плоского угла – градус, минута, секунда; объема – литр и др. Некоторые внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в табл. 1.3;

Таблица 1.3. **Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ**

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	$10^3 kg$
	минута	мин	60 с
Время	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Объем	литр	л	$10^{-3} m^3$

2) допускаемые к применению в специальных областях, например: парсек – астрономическая единица, световой год – единица длины в астрономии; диоптрия – единица оптической силы в оптике; электрон-вольт – единица энергии в физике и т. д.;

3) временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например: морская миля – в морской навигации; карат – единица массы в ювелирном деле и др. Эти единицы должны изыматься из употребления в соответствии с международными соглашениями;

4) изъятые из употребления, например: миллиметр ртутного столба – единица давления; лошадиная сила – единица мощности, и некоторые другие.

Различают кратные и дольные единицы ФВ. Кратная единица – это единица ФВ, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу. Например, единица длины километр равна 1000 м, т. е. кратная метру. Дольная единица – единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины миллиметр равна 10^{-3} м, т. е. является дольной. Приставки для образования кратных и дольных единиц СИ приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц, и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение	Множитель	Приставка	Обозначение
10^{18}	экса	Э	10^{-1}	деци	д
10^{15}	пета	П	10^{-2}	санتي	с
10^{12}	тера	Т	10^{-3}	милли	м
10^9	гига	Г	10^{-6}	микро	мк
10^6	мега	М	10^{-9}	нано	н
10^3	кило	к	10^{-12}	пико	п
10^2	гекто	г	10^{-15}	фемто	ф
10^1	дека	да	10^{-18}	атто	а

Существует соотношение между единицами измерения СИ и наиболее часто встречающимися единицами других систем и внесистемными (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Соотношение между единицами измерения СИ

Величины	Единицы измерения в СИ	Соотношение между единицами измерения СИ и наиболее часто встречающимися
Длина	м	1 мкм = 10^{-6} м
Масса	кг	1 т = 1000 кг
		1 ц = 100 кг
Температура	К	$\Theta = (t^{\circ}\text{C} + 273,15)\text{K}$
Вес (сила тяжести)	Н	1 кг = 9,81 Н
		1 дин = 10^{-5} Н
Мощность	Вт	1 кгс м/с = 9,81 Вт
		1 эрг/с = 10^{-7} Вт
		1 ккал/ч = 1,163 Вт
Плотность	кг/м ³	1 т/м ³ = 1 кг/дм ³ = 1 г/см ³ = 10^3 кг/м ³
		1 кгс с ² /м ⁴ = 9,91 кг/м ³
Объем	м ³	1 л = 10^{-3} м ³ = 1 дм ³
Работа, энергия, количества теплоты	Дж	1 кгс м = 9,81 Дж
		1 эрг = 10^{-7} Дж
		1 кВт ч = $3,6 \cdot 10^6$ Дж = 4,19 кДж

Сравнение некоторых точек в температурных шкалах Фаренгейта, Цельсия и Кельвина представлены в табл. 1.6.

Таблица 1.6. Сравнение некоторых точек в температурных шкалах Фаренгейта, Цельсия и Кельвина

Температурные точки	Шкала		
	Фаренгейта, F	Цельсия, C	Кельвина, K
Абсолютный нуль	-460	-273	0
Точка замерзания воды	32	0	273
Средняя комнатная температура	68	20	293
Нормальная температура человека	98,6	36,6	310
Точка кипения воды	212	100	373

Формулы взаимного перевода температур разных шкал:

$$^{\circ}\text{C} = 100/180 (^{\circ}\text{F} - 32) = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32); \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.$$

Задание. Выразить в соответствующих единицах значения физических величин (задание по вариантам приведено в табл. 1.7).

Таблица 1.7. Задание по вариантам

Варианты заданий					
1, 7, 13, 19		2, 8, 14, 20		3, 9, 15, 21	
Задание	Ответ	Задание	Ответ	Задание	Ответ
10 м	мкм	100 м	мм	100 см	м
100 кг	т	100 кг	ц	100 кг	г
37 °С	Θ =	32 °С	Θ =	37 °С	Θ =
250 К	°С	450 К	°С	210 К	°С
10 Па	бар	10 Па	Мбар	10 Па	Дин/см ²
100 Па	мм рт. ст.	100 Па	кгс/см ²	100 Па	мм рт. ст.
1000 мм рт. ст.	мбар	1000 мм рт. ст.	Па	1000 мм рт. ст.	кгс/см ²
мбар	кг	10 Н	дин	10 Н	г
кгс/см ²	ккал/ч	10 Вт	эрг/с	10 Вт	кгс·м/с
10 Н	ккал	10 Дж	Квт ч	10 Дж	эрг
10 Вт	ккал/ч	10 Вт	эрг/с	10 Вт	кгс·м/с
10 Дж	ккал	10 Дж	кВт·ч	10 Дж	эрг
0,1 л	см ³	0,1 л	дм ³	0,1 л	м ³
0,1 м/с	м/ч	0,1 м/с	км/с	0,1 м/с	км/ч
10 А	ГА	10 А	кА	10 А	МА
100 Вт	МВт	100 Вт	сВт	100 Вт	дВт
1 кг/м ³	кг/дм ³	1 кг/м ³	г/см ³	1 кг/м ³	г/м ³
Варианты заданий					
4, 10, 16, 22		5, 11, 17, 23		6, 12, 18, 24	
Задание	Ответ	Задание	Ответ	Задание	Ответ
1 Мм	м	10 мкм	м	100 мм	м
10 т	кг	100 ц	т	100 г	кг
48 °С	Θ =	53 °С	Θ =	70 °С	Θ =
375 К	°С	273 К	°С	300 К	°С
Варианты заданий					
4, 10, 16, 22		5, 11, 17, 23		6, 12, 18, 24	
Задание	Ответ	Задание	Ответ	Задание	Ответ
10 Па	ат	10 Па	мм рт. ст.	10 Па	мбар
100 Па	кгс/м ²	100 Па	мкбар	100 Па	дин/м ²
1000 мм рт. ст.	дин/см ²	1000 мм рт. ст.	ат	1000 мм рт. ст.	кгс/м ²
10 Н	дг	10 Н	сг	10 Н	дин
1 Вт	ккал/ч	1 Вт	кгс·м/с	1 Вт	эрг/с
1 Дж	ккал	1 Дж	кВт·ч	1 Дж	эрг
0,01 л	см ³	0,01л	дм ³	0,01 л	м ³
0,1 м/с	м/мин	0,1 м/с	км/мин	0,01 м/с	км/ч
0,1 А	гА	0,1 А	сА	0,1 А	МА
1 Вт	МВт	1 Вт	сВт	1 Вт	дВт
1 кг/м ³	кг/дм ³	1 кг/м ³	г/см ³	1 кг/м ³	мг/м ³

1.2. Экспериментальная часть

1.2.1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с единицами физических величин и их размерностью по ГОСТ 8.417-2002 или по методическим указаниям.

Оформить протокол практической работы.

2. Перечертить задание по своему варианту (см. табл. 1.7) в форме таблицы. Используя табл. 1.1–1.6 данного пособия, выразить в соответствующих единицах заданные величины.

3. Написать вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение метрологии как науки.

2. Дайте определения следующим понятиям: физическая величина; назначение физической величины; единица физической величины.

3. Перечислите основные единицы Международной системы СИ.

Лабораторная работа 2. ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ ВОДЫ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) изучение стенда для экспериментальных исследований устройств и систем автоматического регулирования;

2) изучение потенциометрического датчика уровня (назначение, устройство, характеристики);

3) экспериментальное исследование характеристик датчика.

Материалы для выполнения работы: ГОСТ 8.417-2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин».

2.1. Теоретические сведения

Среди множества разнообразных элементов автоматики особое место занимают первичные преобразователи или датчики. Первичным это устройство называют потому, что датчик является первым из эле-

ментов в системах автоматического регулирования, получающим и перерабатывающим информацию о текущем состоянии объекта регулирования.

Датчики применяют для измерения параметров технологического процесса. Основная функция датчика – преобразование параметра процесса (регулируемой величины) в какой-либо сигнал – электрический, механический, гидравлический и др.

Датчик является составной частью регулятора. Иногда в системах автоматического регулирования используется не один, а несколько датчиков.

В настоящее время известны множество явлений, эффектов, видов преобразования свойств и энергии, которые используются в датчиках.

Основной характеристикой датчика является статическая характеристика, которая представляет собой зависимость между преобразуемой (входной) и преобразованной (выходной) величиной. Статическая характеристика датчика может представляться аналитическим выражением, графиком, таблицей.

В практике автоматизации технологических процессов достаточно распространенной является задача измерения линейных и угловых перемещений. Широкое применение при этом находят потенциометрические (реостатные) датчики, которые предназначены для преобразования механического (линейного или углового) перемещения в электрическую величину в виде напряжения.

Потенциометрический датчик представляет собой реостат, величина сопротивления которого изменяется при перемещении скользящего движка. Проводник реостата может представлять собой тонкую проволоку с высоким удельным сопротивлением, намотанную на диэлектрический каркас, а может быть выполнен нанесением гальваническим способом или плазменным напылением на диэлектрическую пластину металлографического состава.

На рис. 2.1 приведены схемы потенциометрического датчика уровня поплавкового типа (такой датчик установлен на стенде).

Чувствительным элементом датчика является поплавок 3. В датчике можно выделить два преобразующих элемента. Первый преобразует изменение положения поплавка x в отклонение движка 2 потенциометра 1, включенного в электрическую цепь с напряжением питания U_1 . При перемещении движка потенциометра изменяется напряжение U_2 на резисторе нагрузки 4. Следовательно, второй преобразующий элемент датчика преобразует сигнал перемещения движка в вы-

ходной сигнал датчика – напряжение U_2 . В результате датчик выдает унифицированный аналоговый электрический сигнал.

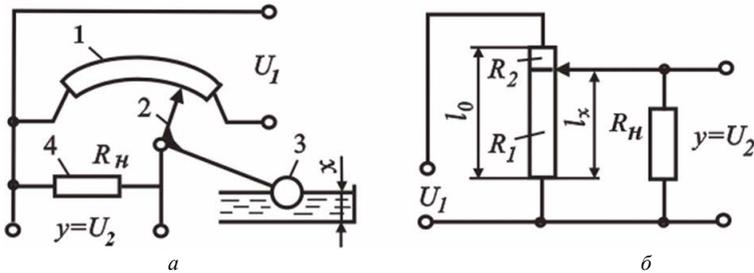


Рис. 2.1. Схемы потенциметрического датчика
 а – датчик уровня поплавкового типа;
 б – расчетная электрическая схема преобразователя датчика

Схема электрического преобразователя поплавкового датчика показана на рис. 1.1, б. Применяя законы Ома и Кирхгофа для соответствующих элементов электрической цепи, находим:

$$U_2 = \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{1 + R_1 R_2 / (R_0 R_H)}, \quad (2.1)$$

где R_0 – полное сопротивление потенциометра, $R_0 = R_1 + R_2$;

R_1, R_2 – сопротивления плеч потенциометра, отделяемых его движком;

R_H – сопротивление резистора нагрузки.

Если выбрать сопротивление нагрузки R_H гораздо больше полного сопротивления потенциометра R_0 , то характеристика преобразователя будет практически линейной:

$$U_2 = U_1 \frac{R_1}{R_2} = U_1 \frac{l_x}{l_0}, \quad (2.2)$$

где l_x – длина плеча потенциометра, соответствующая измеряемой величине x ;

l_0 – длина потенциометра.

Можно подобрать плечи рычага, связывающего поплавков с движком потенциометра так, чтобы в требуемом диапазоне измерения уровня жидкости x связь между l_x и x будет линейной: $l_x = k_1 x$, где k_1 – коэффициент передачи первого преобразующего элемента – двуплече-

го рычага. Статическая характеристика потенциометрического датчика уровня в этом случае будет линейной:

$$y = k x, \quad (2.3)$$

где $y = U_2$;

$k = k_1 k_2$, здесь k_2 – коэффициент передачи второго преобразующего элемента – потенциометра.

Важной характеристикой датчика является чувствительность, которая представляет собой первую производную выходной величины (напряжения U_2) по перемещению поплавка x (входной величине), т. е.

$$k_r = k_1 \frac{U_1}{l_0}. \quad (2.4)$$

Таким образом, чувствительность k_r можно рассматривать как коэффициент усиления датчика.

Рассмотренный потенциометрический датчик по принципу действия относится к параметрическим (под действием входного сигнала изменяется сопротивление потенциометра), а по физической природе элементов – к электромеханическим.

При проведении исследований потенциометрических датчиков часто одновременно со статической характеристикой $U_2 = f_1(x)$ определяют его вольт-амперную характеристику (ВАХ), которая представляет собой зависимость $I = f_2(U_2)$, где I – ток в цепи нагрузки R_H . Следует отметить, что вольт-амперная характеристика является по сравнению со статической характеристикой менее информативной, поскольку зависимость $I = f_2(U_2)$ изменяется с изменением сопротивления нагрузки R_H , т. е. для каждого значения R_H существует своя ВАХ.

Напряжение питания потенциометрического датчика (U_1) может быть, как постоянным, так и переменным.

2.2. Экспериментальная установка

Стенд предназначен для проведения экспериментальных исследований двух основных видов систем автоматического регулирования (САР), применяемых в настоящее время в водоснабжении:

- 1) с регулированием по уровню;
- 2) с регулированием по давлению.

Кроме того, на стенде имеется возможность проводить исследова-

ния отдельных устройств, используемых при автоматизации водоснабжения. На стенде можно:

- 1) определять характеристики потенциометрического датчика уровня (ДУ);
- 2) определять характеристики электромагнитного реле;
- 3) определять рабочие характеристики центробежного насоса;
- 4) определять различными способами расход жидкости;
- 5) изучать устройство реле давления и приборов для измерения температуры и давления, определять пороги срабатывания реле давления, проводить измерения температуры и давления.

Общий вид стенда представлен на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Общий вид стенда.

Стенд состоит из следующих основных устройств:

- 1 – насосная установка, в состав которой входят центробежный насос (Н) и однофазный приводной электродвигатель;
- 2 – пневматический бак (ПБ);
- 3 – модуль гидравлического управления (МГУ);
- 4 – модуль электрического управления;
- 5 – гидробак верхний (Б2);
- 6 – потенциометрический датчик уровня (ДУ);
- 7 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ);
- 8 – гидробак нижний (Б1);
- 9 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке (заменен на трубчатый указатель);
- 10 – рама стенда. (В скобках приведены обозначения устройств, принятые ниже на гидравлической схеме)

Номинальная мощность электродвигателя – 600 Вт. Тип насоса – КРМ 80.

Модули гидравлического и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

На рис. 2.3 приведена гидравлическая схема стенда (эта же схема показана на передней панели модуля гидравлического управления). В корпусе модуля гидравлического управления установлены все устройства, которые на гидравлической схеме (рис. 2.3) изображены внутри прямоугольника, выделенного штрихпунктирной линией. Это следующие устройства: КО – клапан обратный; РД – реле давления; В1...В5 – вентили; П – имитатор потребителей воды; Т – датчик температуры; РА – расходомер; МН – манометр.

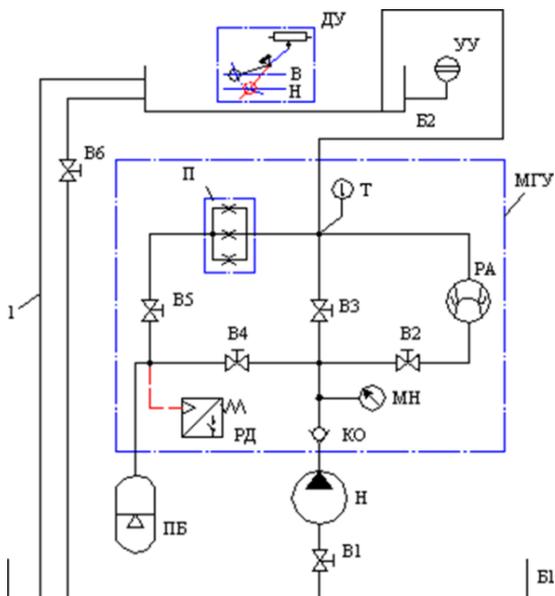


Рис. 2.3. Схема гидравлическая стенда

Обратный клапан в напорную линию насоса установлен с целью предотвращения утечек воды из пневматического бака ПБ через неработающий гидронасос Н в нижний гидробак Б1.

Вентиль В1 установлен во всасывающем трубопроводе, соединяющем нижний гидробак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации станда всегда открыт. Закрывают вентиль при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В6 установлен в трубопроводе, соединяющем верхний и нижний гидробаки.

В дно верхнего гидробака вварена труба перелива (гидролиния 1 на рис. 2.3) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака. То есть максимальный уровень воды в верхнем гидробаке примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака через трубу перелива перетекает в нижний гидробак. Благодаря этому при любых ситуациях, которые только могут возникнуть при работе станда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса Н, так как работа насоса всухую невозможна.

Электрическая схема станда приведена на рис. 2.4 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления). На схеме обозначено: ДУ – потенциометрический датчик уровня (установлен в верхнем гидробаке, поз. 6 на рис. 2.2); ЭМР – электромагнитное реле; РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления); ЭД – электродвигатель привода гидронасоса; РН – сопротивление нагрузки; А, V, W – амперметр, вольтметр, ваттметр соответственно; HL2 – лампочка световой индикации.

Напряжение питания электрической системы 220 В, ток переменный, 50 Гц. Напряжение питания потенциометрического датчика уровня – 12 В, ток постоянный.

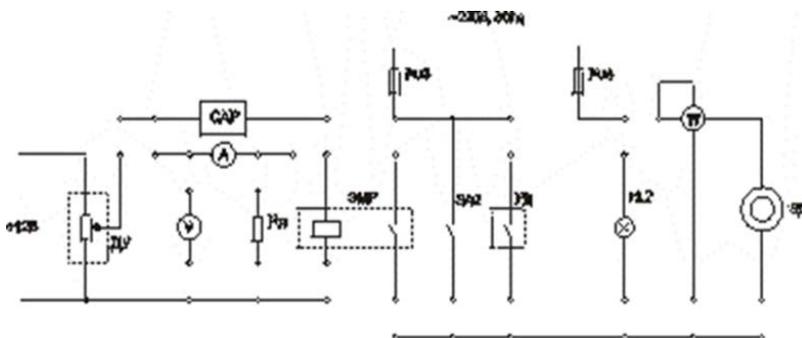


Рис. 2.4. Электрическая схема станда

На передней панели стенда также установлен электронный секундомер:

- СЕК – цифровое табло секундомера (трехразрядное);
- Вкл., Счет, Сброс – кнопки управления секундомером (Вкл. – включение питания; Счет – включение и выключение секундомера; Сброс – сброс показаний цифрового табло).

Внимание: при работе секундомера (когда идет подсчет времени) запрещается нажимать кнопку «Сброс».

В нижнем правом углу панели модуля электрического управления установлен прибор, регистрирующий температуру рабочей жидкости (T , °C). В линиях питания электрической системы стенда (на входе) установлены предохранители FU1, FU2, FU3 и FU4, а также предусмотрена световая индикация исправности электрической системы (HL1).

Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек производится в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены «жирной» штриховой линией.

Включение питания стенда осуществляется путем установки тумблера «СЕТЬ» в верхнее положение. Тумблер расположен в верхнем левом углу передней панели модуля электрического управления.

Перед началом работы на стенде необходимо:

1. Заправить нижний гидробак стенда водой. Для этого необходимо снять крышку (с установленным на ней модулем электрического управления) верхнего гидробака и через трубу перелива заполнить нижний гидробак. Заправка бака осуществляется до верхней отметки указателя уровня, установленного в нижнем гидробаке (поз. 9, рис. 2.2).

2. Заземлить корпус стенда.

2.3. Экспериментальная часть

2.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электри-

ческих соединений в соответствии с рис. 2.5 (на передней панели модуля электрического управления).

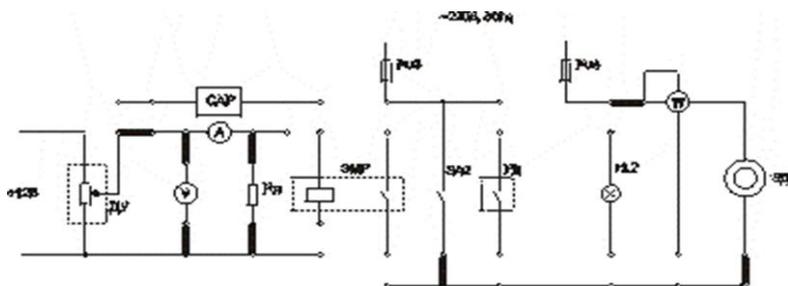


Рис. 2.5. Схема электрических соединений

2. Убедиться по указателю уровня 7 (рис. 2.2), что в верхнем баке (поз. 5) отсутствует вода. Если верхний бак заполнен водой, то, открыв вентиль 6, необходимо слить воду из верхнего бака в нижний бак (поз. 8). Вентиль В6 открыт, когда рукоятка управления установлена параллельно оси трубопровода. После слива воды из верхнего гидробака вентиль 6 необходимо закрыть.

3. На модуле гидравлического управления вентиль В3 открыть, а вентили В2, В4 и В5 – закрыть (закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке, а открытие – вращением против часовой стрелки. При управлении вентильями рекомендуется не прикладывать больших усилий).

2.3.2. Порядок выполнения работы

После выполнения условий, описанных в п. 2.3.1, необходимо:

1. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

2. Провести экспериментальные исследования характеристик потенциометрического датчика при заполнении верхнего гидробака стенда. При этом, периодически включая и выключая насос с помощью выключателя SA2, установленного на электродвигателе, заполнить верхний гидробак до уровня, при котором начнется, перелив воды из верхнего гидробака в нижний. Во время выключения насоса необходимо фиксировать: координату x – уровень воды в верхнем баке (по

шкале указателя уровня). Нижнее деление указателя уровня принять за нулевое; напряжение U_2 (по вольтметру); силу тока I (по амперметру).

Первое отключение насоса желательно выполнить в тот момент, когда уровень воды в стеклянной трубке совпадет с нулевым делением указателя. Дальнейшие отключения насоса производить примерно через каждые десять делений. Таким образом, при управлении насосом необходимо следить за уровнем воды в верхнем гидробаке.

Результаты измерений занести в табл. 2.1.

3. После максимального заполнения верхнего гидробака отключить насос и, приоткрывая вентиль В6 и перепуская воду из верхнего бака в нижний, произвести исследования характеристик потенциометрического датчика, но уже не при заполнении, а при опорожнении верхнего гидробака. Измерения необходимо производить при закрытом вентиле В6. Результаты измерений занести в табл. 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1. Результаты исследований потенциометрического датчика при заполнении бака

Номер измерения	x – уровень воды в баке		U_2 – напряжение на выходе датчика, В	I – сила тока в цепи нагрузки, мА
	в делениях	в миллиметрах		
1 ... 6				

Таблица 2.2. Результаты исследований потенциометрического датчика при опорожнении бака

Номер измерения	x – уровень воды в баке		U_2 – напряжение на выходе датчика, В	I – сила тока в цепи нагрузки, мА
	в делениях	в миллиметрах		
1 ... 6				

После проведения всех измерений необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

2.4. Обработка результатов

Особой обработки результатов экспериментов в данной работе не требуется. Единственное, что необходимо учесть:

- 1) по указателю уровня воды в верхнем баке:

1 дел. = 4,6 мм = 1 л (одно деление равно 4,6 миллиметрам или одному литру);

2) предел измерения вольтметра равен 10 В, то есть, чтобы получить значение напряжения в вольтах, необходимо показание прибора умножить на 0,1;

3) предел измерения амперметра – 1 мА.

По результатам экспериментов необходимо построить графические зависимости: $U_2 = f(x)$ и $I = f(U_2)$. Графические зависимости при заполнении и опорожнении бака строить в одной системе координат с тем, чтобы выявить наличие гистерезиса в статических характеристиках датчика.

Контрольные вопросы

1. Стенд для экспериментальных исследований устройств и систем автоматического регулирования: назначение, схемы (гидравлическая и электрическая), информационно-измерительная система, устройство, управление.

2. Назначение датчиков, используемых в системах автоматического регулирования. Назначение и устройство потенциметрических датчиков.

3. Какие характеристики датчиков называют статическими? Какие статические характеристики у потенциметрического датчика уровня поплавкового типа? Назначение статических характеристик.

4. Методика определения статических и вольтамперных характеристик потенциметрического датчика.

5. Чем объяснить наличие гистерезиса в статических характеристиках потенциметрического датчика?

Лабораторная работа 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТРИДЦАТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: изучение и освоение вероятностно-статистического метода обработки результатов многократных наблюдений; приобретение навыков математической обработки результатов прямых равноточных измерений с многократными наблюдениями в соответствии с ГОСТ 8.736 и представления результатов.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного

задания на выполняемый эксперимент. Используемые технические средства: генератор электрических сигналов (ГЗ-109); универсальный вольтметр (В7-22А).

3.1. Теоретические сведения

Необходимость выполнения прямых многократных измерений устанавливаются в конкретных методиках измерений.

При статистической обработке группы результатов прямых многократных независимых измерений выполняют следующие операции:

- исключают известные систематические погрешности из результатов измерений;
- вычисляют оценку измеряемой величины;
- вычисляют среднее квадратическое отклонение результатов измерений;
- проверяют наличие грубых погрешностей и при необходимости исключают их;
- проверяют гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному распределению;
- вычисляют доверительные границы случайной погрешности (доверительную случайную погрешность) оценки измеряемой величины;
- вычисляют доверительные границы (границы) неисключенной систематической погрешности оценки измеряемой величины;
- вычисляют доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины.

Проверку гипотезы о том, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, проводят с уровнем значимости q от 10 % до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике измерений.

Для определения доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины доверительную вероятность P принимают равной 0,95.

3.2. Основные понятия и определения

В зависимости от характера проявления различают систематическую (Δ_c) и случайную (Δ°) составляющие погрешности измерений, а также грубые погрешности (промахи).

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений, например, внезапное падение напряжения в сети электропитания. К ним тесно примыкают промахи – погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений.

Систематическая погрешность измерения (систематическая погрешность Δ_c) – это составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Считается, что систематические погрешности могут быть обнаружены и исключены. Однако в реальных условиях полностью исключить систематическую составляющую погрешности измерения невозможно. Всегда остаются какие-то факторы, которые нужно учитывать, и которые будут составлять неисключенную систематическую погрешность.

Неисключенная систематическая погрешность (НСП) – составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой не введена вследствие ее малости. Неисключенная систематическая погрешность характеризуется ее границами.

Границы неисключенной систематической погрешности θ при числе слагаемых $N \leq 3$ вычисляют по формуле:

$$\theta = \pm \sum_{i=1}^N |\theta_i|, \quad (3.1)$$

где θ_i – граница i -й составляющей не исключенной систематической погрешности.

При числе не исключенных систематических погрешностей $N \geq 4$ вычисление проводят по формуле

$$\theta = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^N \theta_i^2}, \quad (3.2)$$

где k – коэффициент зависимости отдельных неисключенных систематических погрешностей от выбранной доверительной вероятности P при их равномерном распределении (при $P = 0,95$, $k = 1,1$; при $P = 0,99$, $k = 1,4$). Здесь θ рассматривается как доверительная квазислучайная погрешность.

Случайная погрешность измерения (Δ°) – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

Для уменьшения случайной составляющей погрешности проводят многократные измерения. Случайная погрешность оценивается доверительным интервалом:

$$\Delta^\circ = \pm t_p S_{\bar{x}}, \quad (3.3)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента для данного уровня доверительной вероятности P_d и объема выборки n (число измерений).

Доверительные границы погрешности результата измерения – границы интервала, внутри которого с заданной вероятностью находится истинное значение погрешности результата измерений.

Выборка – ряд из x результатов измерений $\{x_i\}$, $i = 1, \dots, n$ ($n > 20$), из которых исключены известные систематические погрешности. Объем выборки определяется требованиями точности измерений и возможностью производить повторные измерения.

Вариационный ряд – выборка, упорядоченная по возрастанию.

Гистограмма – зависимость относительных частот попадания результатов измерения в интервалы группирования от их значений, представленная в графическом виде. Оценка закона распределения – оценка соответствия экспериментального закона распределения теоретическому распределению. Проводится с помощью специальных статистических критериев. При $n < 15$ не проводится.

Точечные оценки закона распределения – оценки закона распределения, полученные в виде одного числа, например, оценка дисперсии результатов измерений или оценка математического ожидания и т. д.

Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений (средняя квадратическая погрешность результата измерений) – оценка S_x рассеяния единичных результатов измерений в ряду равнооточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.4)$$

где x_i – результат i -го единичного измерения;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Примечание. На практике широко распространен термин **среднее квадратическое отклонение** – (СКО). Под отклонением в соответствии с приведенной выше формулой понимают отклонение единичных результатов в ряду измерений от их среднего арифметического значения. В метрологии это отклонение называется погрешностью измерений.

Средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического – оценка S_x случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \int (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.5)$$

где S_x – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равнооточных измерений;

n – число единичных измерений в ряду.

3.3. Исключение грубых погрешностей

Для исключения грубых погрешностей используют статистический критерий Граббса, который основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого вычисляют критерии Граббса G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший x_{\max} или наименьший x_{\min} результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S_x}, G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{\min}|}{S_x}. \quad (3.6)$$

Сравнивают G_1 и G_2 с теоретическим значением G_T критерия Граббса при выбранном уровне значимости q . Критические значения критерия Граббса будут представлены в задании выданном преподавателем. Если $G_1 > G_T$, то x_{\max} исключают как маловероятное значение. Если $G_2 > G_T$, то x_{\min} исключают как маловероятное значение. Далее вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Если $G_1 \leq G_T$, то x_{\max} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений. Если $G_2 \leq G_T$, то x_{\min} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений.

3.4. Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины находят путем построения композиции распределений случайных погрешностей и НСП, рассматриваемых как случайные величины. Границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют по формуле:

$$\Delta = K S_{\Sigma}, \quad (3.7)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП.

Суммарное среднее квадратическое отклонение S_{Σ} оценки измеряемой величины вычисляют по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_{\bar{x}}^2}, \quad (3.8)$$

где S_{θ} – среднее квадратическое отклонение НСП, которое оценивают в зависимости от способа вычисления НСП по формуле:

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}, \quad (3.9)$$

где θ_{Σ} – границы НСП, которые определяют по одной из формул (3.1), или

$$S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}(P)}{k\sqrt{3}}, \quad (3.10)$$

где $\theta_{\Sigma}(P)$ – доверительные границы НСП, которые определяют по формуле (3.2);

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P , числом составляющих НСП и их соотношением между собой.

Коэффициент K для подстановки в формулу (3.7) в зависимости от числа НСП определяют по эмпирическим формулам соответственно

$$K = \frac{\Delta^{\circ} + \theta_{\Sigma}}{S_{\bar{x}} + S_{\theta}}, K = \frac{\Delta^{\circ} + \theta_{\Sigma}(P)}{S_{\bar{x}} + S_{\theta}}. \quad (3.11)$$

3.5. Алгоритм обработки результатов наблюдений

Обработку результатов наблюдений проводят в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

Определение точечных оценок закона распределения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

Построение экспериментального закона распределения результатов многократных наблюдений:

а) в табл. 3.2 записать вариационный ряд результатов многократных наблюдений x_i ;

б) определить число интервалов группирования по формуле:

$$m = 3,3 \lg(n) + 1, \text{ (для } n = 20, m = (5 - 6)\text{);}$$

в) вычислить интервал группирования вариационный ряд на интервалы; $h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}$ и разбить границы первого интервала m_1 : (x_{\min} ; $x_{\min} + h$); граница второго интервала равна m_2 : ($x_{\min} + h$; $x_{\min} + h + h$) и т. д.;

г) вычислить относительные частоты:

$$\bar{n}_j = \frac{n_j}{n}, \quad (3.12)$$

где $j = 1, \dots, m$;

n_j – число значений x из вариационного ряда, попавших в j -й интервал группирования;

– число значений x из вариационного ряда, попавших в j -й интервал группирования;

д) построить гистограмму, пример представлен на рис. 3.1.

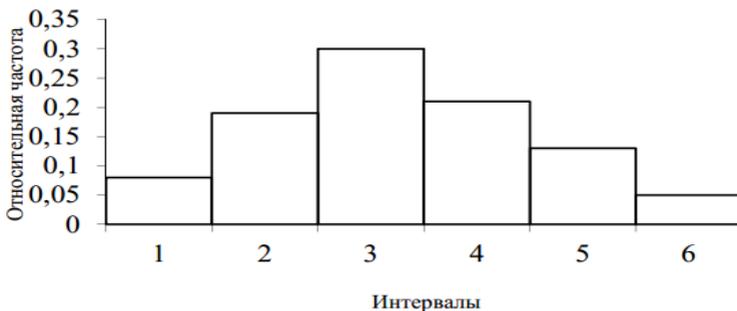


Рис. 3.1. Гистограмма

При малых $n < 15$ гистограмма позволяет оценить тип экспериментального распределения только качественно, и оценка соответствия выборочного распределения теоретическому распределению не производится. Данная в примере гистограмма позволяет предположить нормальный характер распределения результатов многократных наблюдений.

Определение доверительных границ случайной погрешности: а) задать доверительную вероятность из ряда $P\partial = 0,9; 0,95; 0,99$; б) определить доверительные границы случайной погрешности по формуле

$$\Delta^\circ = \pm t_p S_{\bar{x}}, \quad (3.13)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента для данного уровня доверительной вероятности $P\partial$ и объема выборки n (приложение).

Определение границ неисключенной систематической погрешности

Неисключенная систематическая погрешность определяется погрешностью метода, субъективной погрешностью, основными погрешностями СИ (вольтметра, генератора), дополнительными погрешностями. Они определяются нестатистическими методами. Суммарные границы неисключенной систематической погрешности определяются по формуле

$$\theta = \left\{ \begin{array}{l} \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^N \theta_i^2}, \text{ при } N > 4 \\ \pm \sum_{i=1}^N |\theta_i|, \text{ при } N \leq 3 \end{array} \right\},$$

где N – количество составляющих неисключенной систематической погрешности.

Определение доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют, как показано в п. 3.4.

Записать результат измерения с указанием единиц измерения.

3.6. Экспериментальная часть

3.6.1. Порядок выполнения работы

Заполнить для используемых средств измерений (СИ) табл. 3.1.

Таблица 3.1. Классификационные признаки средств измерений

Классификационный признак	Амперметр	Вольтметр
Вид СИ		
Тип выходной величины		
Форма представления информации		
Назначение		
Метрологическое назначение		
Нормируемые метрологические характеристики СИ		

Собрать схему для прямого измерения напряжения постоянного электрического сигнала произвольной частоты. Напряжение, задаваемое с генератора, установить в одном из пределов – 1...100 мВ; 1...10 В. Произвести ряд независимых многократных наблюдений ФВ – x . Результаты записать в табл. 3.2 (графы 1, 2) с указанием наименования ФВ и единицы измерения:

Таблица 3.2. Результаты измерений

n_i	x_i	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	$x^i - \bar{x}$	Вариационный ряд	n_j	\bar{n}_j
1	2	3	4	5	6	7
1	x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$	Δx_{\min}		
2	x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_{21} - \bar{x})^2$			
...		
19	x_{19}	$x_{19} - \bar{x}$	$(x_{19} - \bar{x})^2$			
30	x_{30}	$x_{30} - \bar{x}$	$(x_{30} - \bar{x})^2$	Δx_{\max}		
	\bar{x} $= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$		$\sum_{i=1}^{30} (x_i - \bar{x})^2$			

Количество независимых равнооточных измерений – $n > 20$.

Провести обработку результатов многократных наблюдений в соответствии с методикой ГОСТ 8.736 (см. п. 3.5) и заполнить табл. 3.2.

Записать результат измерения ФВ с указанием пределов и довери-

тельной вероятности с соблюдением правил округления (см. п. 2.4).

Оформить отчет о проделанной лабораторной работе.

Отчет должен содержать: цель работы; перечень используемого оборудования; табл. 3.1 (заполненную); схему эксперимента; результаты эксперимента (табл. 3.2 графы 1, 2); алгоритм обработки результатов эксперимента; выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем смысл многократных измерений?
2. Цель построения гистограммы.
3. Какими погрешностями определяется систематическая составляющая погрешности измерений, а какими – случайная составляющая?
4. Что такое доверительные границы погрешности результата измерений?
5. Как определяются доверительные границы суммарной погрешности результата измерений?

Лабораторная работа 4. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАНОМЕТРА

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) получение навыков работы с манометром давления;

2) изучение устройства и исследование характеристик реле давления, расчет погрешности прибора.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент. В качестве образцового манометра можно использовать датчик давления с классом точности 0,5 %.

4.1. Теоретические сведения

Давление – наиболее распространенный измеряемый параметр, одна из основных величин, определяющих термодинамическое состояние вещества. Давлением называют отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности. Давление как физическая величина определяется в виде энергии вещества (жидкость или газ), отнесенной к единице объема, и является наряду с тем-

пературой основным параметром его физического состояния. Воздействии давления вещества на внешний объект проявляется в виде силы F , действующей на единицу площади S , т. е. $P = F / S$.

Различают следующие виды давления: атмосферное; абсолютное; избыточное; вакуумметрическое (разрежение).

Атмосферное (барометрическое) давление $P_{\text{атм}}$ – это давление, создаваемое массой воздушного столба атмосферы.

Абсолютное давление $P_{\text{абс}}$ – давление, отсчитанное от абсолютного нуля. За начало отсчёта абсолютного давления принимают давление внутри сосуда, из которого полностью откачан воздух. Также под абсолютным давлением понимается полное давление, которое равно сумме атмосферного и избыточного: $P_{\text{абс}} = P_{\text{и}} + P_{\text{атм}}$. Избыточное давление – разность между абсолютным и атмосферным давлением: $P_{\text{и}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$, – избыточное давление всегда выше атмосферного.

Вакуумметрическое (разрежение) – разность между атмосферным и абсолютным давлением: $P_{\text{в}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}$, – вакуумметрическое давление всегда ниже атмосферного.

В международной системе единиц (СИ) за единицу давления принят Паскаль (Па) – давление, создаваемое силой в 1 Ньютон (Н), равномерно распределенной по поверхности площадью в один квадратный метр ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$) и направлена перпендикулярно к ней. Широко применяют кратные единицы кПа и МПа.

Приборы измерения давления в зависимости от измеряемой величины разделяют на следующие типы:

1. Манометры (для измерения избыточного или абсолютного давления).
2. Барометры (для измерения атмосферного давления).
3. Вакуумметры (для измерения вакуумметрического давления).
4. Дифференциальные манометры (дифманометры), предназначенные для измерения разности давлений.

Манометры, предназначенные для измерения малых значений, имеют следующие названия:

1. Напоромеры – для измерения избыточных давлений до 40 кПа.
2. Тягомеры – для измерения малых вакуумметрических давлений до 40 кПа.
3. Тягонапоромеры – приборы давления, имеющие двустороннюю шкалу с пределами измерения ± 20 кПа (значение «ноль» на шкале соответствует атмосферному давлению).

По принципу действия чувствительного элемента приборы для измерения давления разделяют на:

1. Жидкостные – приборы, в которых измеряемое давление уравновешивается весом столба жидкости, а изменение уровня жидкости в сообщающихся сосудах служит мерой давления, называются жидкостными.

2. Грузопоршневые – приборы, в которых измеряемое давление уравновешивается усилием, создаваемым калиброванными грузами, воздействующими на свободно передвигающийся в цилиндре поршень.

3. Пружинные (деформационные) – приборы, в которых измеряемое давление уравновешивается силами упругости пружины, деформация которой служит мерой давления.

4. Приборы с дистанционной передачей показаний (датчики) – приборы, в которых используются изменения тех или иных электрических свойств вещества (электрического сопротивления проводников, электрической емкости, возникновения электрических зарядов на поверхности кристаллических минералов и др.) под действием измеряемого давления.

По метрологическому назначению манометры делятся на образцовые и рабочие. Образцовыми измерительными приборами называются устройства, предназначенные для проверки других измерительных приборов.

Образцовые манометры имеют следующие классы точности: 0,05; 0,2 – грузопоршневые манометры; 0,16; 0,25; 0,4 – пружинные манометры. Рабочими измерительными приборами называются все измерительные приборы, служащие для непосредственных измерений.

Рабочие манометры имеют классы точности 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4. Метод и средства измерений давления выбирают в зависимости от значений требуемой точности, условий проведения измерений, диапазона измеряемых величин давлений, способов отбора давления и его подвода к измерительным приборам.

Исходя из надежности работы приборов, конечное значение их шкалы выбирают таким, чтобы оно превышало измеряемую величину при стабильном давлении в 1,5 раза, а при колеблющемся – в 2 раза. В обоих случаях минимальное измеряемое давление должно быть не меньше $1/3$ диапазона шкалы прибора. Показания манометров с упругими чувствительными элементами зависят от температуры, поэтому их устанавливают так, чтобы исключить влияние температуры измеряемой и окружающей среды. Дополнительная погрешность этих манометров составляет 0,4 % на каждые 10 °С.

Манометры применяют для прямого измерения давления с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора. Стрелочные деформационные манометры. В настоящем стенде применены пружинные деформационные манометры, различающиеся классом точности: манометр 1 (М1) классом точности 0,6 % и манометр 2 (М2) классом точности 1,0 %. Манометры установлены на лицевой панели стенда и подключены к ресиверу измерений. Устройство манометра представлено на рис. 4.1.

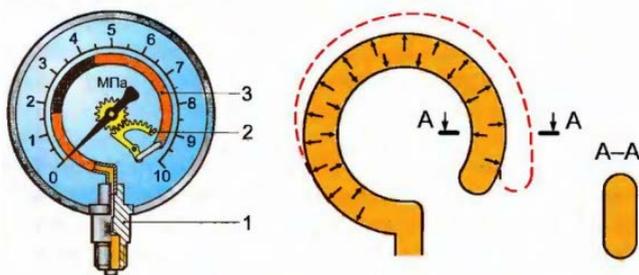


Рис. 4.1. Конструкция манометра с трубкой Бурдона:
1 – штуцер; 2 – зубчатый сектор; 3 – тонкостенная трубка Бурдона

Чувствительным элементом пружинных манометров является трубка Бурдона 3 – полая латунная трубка эллиптического или овального сечения, согнутая по дуге и запаянная с одного конца. С другого конца трубка приварена к штуцеру 1, к которому подводится измеряемое давление. Запаянный (свободный) конец пружины шарнирно соединен с поводком. Давление действует на внутреннюю поверхность трубки Бурдона. Из-за разности площадей, на которые воздействует давление среды, трубка будет стремиться распрямиться. Получается, что при увеличении давления латунная трубка разгибается (рис. 4.1), ее свободный конец перемещается относительно первоначального положения. При перемещении свободного конца пружины поводок поворачивает зубчатый сектор 2, который в свою очередь вращает шестерню, на одной оси, с которой закреплена показывающая стрелка. Величина смещения пропорциональна величине приложенного давления и по положению стрелки на градуированной шкале может быть считана. Класс точности манометра – это отраженная в процентах наибольшая допустимая относительная погрешность, приведенная к его диапазону измерений.

Важнейшей характеристикой манометра является класс точности (указывается на циферблате). Промышленные манометры бывают следующих классов точности: 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Допустимую погрешность измерения давления манометром определяют из следующего выражения:

$$\delta = \frac{K\Pi}{100}, \quad (4.1)$$

где K – класс точности манометра;

Π – верхний предел измерения давления.

Датчики давления тензорезистивного типа

Основной принцип преобразования давления в датчиках давления (ДД) – тензометрический. Чувствительным элементом является «мост Уитстона» из тензорезисторов, напыленных на мембрану из различного материала. Под действием измеряемого давления мембрана деформируется, тензорезисторы меняют величину своего сопротивления, нормирующий преобразователь преобразует разбалансировку «моста» в выходной сигнал с заданной погрешностью.

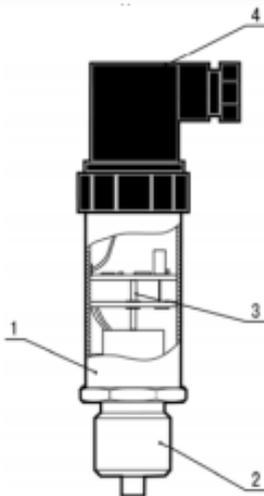


Рис. 4.2. Внешний вид датчика давления тензорезистивного типа:
1 – корпус; 2 – штуцер; 3 – нормирующий преобразователь; 4 – кабельный ввод

В описанном датчике использован сенсор КНК в корпусе из нержавеющей стали (рис. 4.2, 4.3). Технология КНК («кремний-на-кремнии»)

основана на изготовлении сенсора из монокристалла кремния с нанесенным на него методом диффузии тензорезистивным мостом.



Рис. 4.3. Внешний вид сенсора КНК и место ее установки в датчике

ДД обеспечивают непрерывное преобразование измеряемого давления (абсолютного, избыточного, дифференциального, разрежения, гидростатического и избыточного – вакуумметрического) нейтральных и неагрессивных (по отношению к контактирующим с ними материалам) сред в унифицированный токовый выходной сигнал 4–20 мА (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Место установки датчиков давления на трубопроводе

Датчики давления, имеющие вторичные преобразователи контактного типа, по сути, являются реле давления. Под реле давления обычно понимают устройства, выдающие информацию или в виде механического перемещения выходного звена, или в виде электрического сигнала при достижении в гидрочастоте заданного давления. Обычно реле давления выполняют в виде устройства, содержащего миниатюрный гидродвигатель с поступательным движением ведомого звена (гидроцилиндр, мембрана или сильфон), который в одну сторону перемещается под действием давления жидкости или газа, а в другую возвращается под действием возвратной пружины. Ведомое звено гидродвигателя очень часто управляет электрическими контактами. На рис. 4.5 показана схема реле давления, используемого на стенде для управления электродвигателем насосной установки.

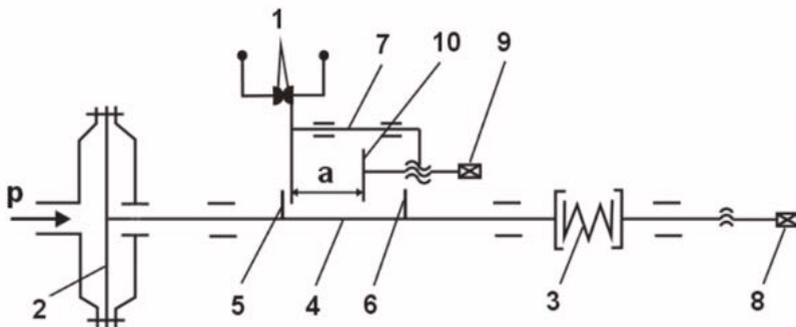


Рис. 4.5. Схема реле давления

Реле давления имеет постоянно замкнутые контакты 1. При увеличении давления p до давления, равного верхнему порогу срабатывания $p_{\text{верх}}$, диафрагма 2 перемещается вправо, сжимая пружину 3, и размыкает контакты 1, установленные в цепи управления электродвигателем, что приводит к отключению насосной установки. Воздействие от диафрагмы на пружину 3 и контакты 1 передается через толкатель 4 и упор 5, закрепленный на толкателе. При уменьшении давления p диафрагма 2 с толкателем 4 под действием пружины 3 перемещаются влево, однако это не приводит к замыканию контактов 1 до тех пор, пока давление p не достигнет нижнего значения $p_{\text{ниж}}$ (при этом упор 6, воздействуя на верхнюю рычажную систему 7, замкнет контакты 1, что приведет к включению насосной установки).

При воздействии на винт 8 и изменении усилия пружины 3 изменяется $p_{\text{верх}}$ – давление, при котором отключается насосная установка. При воздействии на винт 9 и перемещении упора 10 изменяется $p_{\text{ниж}}$ – давление, при котором включается насосная установка. Причем, при уменьшении размера а снижается $p_{\text{ниж}}$.

4.2. Экспериментальная часть

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.3.

Объектом испытаний является реле давления, которое используется на стенде для управления однофазным электродвигателем. Исследуемое реле давления установлено внутри модуля гидравлического управления.

4.3. Порядок проведения работы

4.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 4.6 (на передней панели модуля электрического управления).

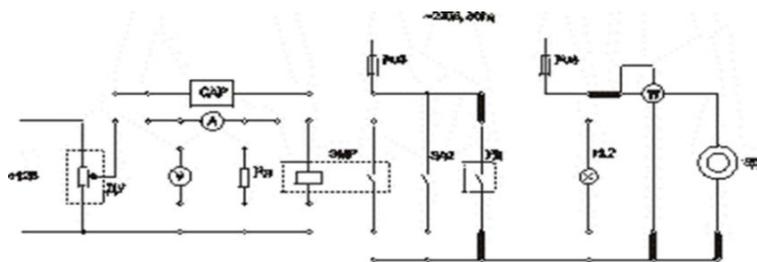


Рис. 4.6. Схема электрических соединений

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В2 и В3 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентили В4, В5 и В6 необходимо открыть. Причем вентиль В5 желательно приоткрыть частично. При уменьшении степени открытия вентиля В5 будет увеличиваться время опорожнения пневматического бака ПБ (рис. 4.6) в верхний бак стенда Б2, а,

следовательно, увеличится время, на которое будет отключаться насосная установка. При этом будет более удобно проводить испытания.

4.3.2. Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 4.3.1, необходимо:

1. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение.

2. Провести экспериментальные исследования по определению порогов срабатывания реле давления. При этом необходимо 5 раз по манометру МН зафиксировать давления $p_{\text{верх}}$ (при котором отключается насосная установка) и $p_{\text{ниж}}$ (при котором включается насосная установка). При проведении опытов насосная установка будет работать в автоматическом режиме. Результаты измерений необходимо занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Результаты исследований

№ опыта	$p_{\text{верх}}$ – верхний порог срабатывания, кгс/см ²	$p_{\text{ниж}}$ – нижний порог срабатывания, кгс/см ²	$p_{\text{верх}}^{\text{ср}}$ кгс/см ²	$p_{\text{ниж}}^{\text{ср}}$ кгс/см ²	t – температура воды, °С
1					
2					
3					
4					
5					

Необходимо также зафиксировать температуру воды t (предел измерения прибором температуры – 100 °С). После проведения всех опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

4.4. Обработка результатов

1. Используя результаты измерения давления, необходимо определить средние арифметические значения верхнего $p_{\text{верх}}^{\text{ср}}$ и нижнего $p_{\text{ниж}}^{\text{ср}}$ порогов срабатывания реле давления.

2. Необходимо также, используя выражение (4.1), определить допустимую погрешность измерения давления манометром, установленным на стенде.

Контрольные вопросы

1. Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения датчиков для измерения температуры.
2. Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения датчиков для измерения давления.
3. Назначение и устройство реле давления.
4. Методика экспериментальных исследований реле давления.

Лабораторная работа 5. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ТРИДЦАТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) изучить характеристики качества измерений и простейшие способы их оценивания при выполнении многократных измерений с применением разных методик выполнения измерений в различных лабораториях; 2) получить серию из 30 измерений указанной преподавателем величины, провести статистическую обработку полученных результатов.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

5.1. Теоретические сведения

Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. Для описания точности метода измерений в современной метрологической практике применяется серия стандартов СТБ ИСО 5725 (часть 1–6), во всех частях которых применяются два термина: «правильность» и «прецизионность».

«Правильность» касается близости между средним арифметическим значением большого числа результатов испытаний и истинным или принятым эталонным значением. «Прецизионность» касается близости между результатами испытаний.

Необходимость принятия во внимание «прецизионности» возникает из-за того, что испытания или измерения, выполняемые на предпо-

ложительно идентичных материалах при предположительно идентичных обстоятельствах, обычно не дают тождественно равных результатов. Это дает основания говорить о неопределенности измерительной информации.

Неопределенность информации, полученной при измерении конкретной физической величины с многократными наблюдениями, зависит от множества объективных и субъективных причин. На неопределенность измерений оказывают влияние: использованные технические ресурсы (средства измерений, меры и др.); операторы; условия окружающей среды (температура, влажность, напряжение питающей сети и т. д.); число наблюдений в серии; выбор гипотез о «законах распределения», выбор критериев согласия, уровней значимости при проверке гипотез по критериям согласия; выбор методов исключения наблюдений с явно выраженными грубыми погрешностями, выбор критериев статистического анализа «подозрительных» наблюдений и уровней значимости при проверке гипотез по этим критериям; выбор значения доверительной вероятности для описания результата измерений.

Для оценки качества измерений и получения его дифференцированных количественных оценок в метрологии часто используют такие свойства, как точность, правильность, прецизионность, повторяемость и воспроизводимость измерений. В лабораторной работе используем терминологию, применяемую в серии стандартов СТБ ИСО 5725 (часть 1–6).

Точность результата измерений (точность измерений) – одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Правильность измерений – близость среднего значения, полученного на основании большой серии результатов испытаний, к принятому эталонному значению величины. Является характеристикой качества измерений, отражающей близость к нулю систематических погрешностей в результатах.

Прецизионность – близость между независимыми результатами измерений, полученными при определенных принятых условиях. Прецизионность зависит только от распределения случайных погрешностей и не связана ни с истинным значением, ни с заданным значением. Показатель прецизионности обычно выражают в терминах рассеяния и вычисляют как стандартное отклонение результатов испытаний. В международной практике и стандартах под термином «стандартное отклонение» понимается среднее квадратическое отклонение (СКО).

Повторяемость – прецизионность в условиях повторяемости. Условия повторяемости – условия, при которых независимые результаты испытаний получены одним методом на идентичных образцах испытаний в одной лаборатории одним оператором с использованием одного оборудования и за короткий интервал времени.

Стандартное отклонение повторяемости – стандартное отклонение результатов испытаний, полученных в условиях повторяемости. Предел повторяемости r – такое значение, что абсолютная разность между двумя результатами испытаний, полученными в условиях повторяемости, будет ожидаться меньше его или равной ему с вероятностью 95 %.

Воспроизводимость – прецизионность в условиях воспроизводимости. Условия воспроизводимости – условия, при которых результаты испытаний получены одним методом на идентичных образцах испытаний в различных лабораториях, разными операторами с использованием различного оборудования. Стандартное отклонение воспроизводимости – стандартное отклонение результатов испытаний, полученных в условиях воспроизводимости.

Предел воспроизводимости R – такое значение, что абсолютная разность между двумя результатами испытаний, полученными в условиях воспроизводимости, будет ожидаться меньше его или равной ему с вероятностью 95 %. В соответствии с РМГ 29-99 применяется несколько другое определение воспроизводимости, которое не искажает сути понятия, а также используется такая характеристика качества измерений, как сходимость.

Сходимость результатов измерений – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Воспроизводимость результатов измерений – близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Воспроизводимость измерений в разных сериях следует оценивать близостью средних значений, учитывая рассеяния (размахи результатов наблюдений или значения средних квадратических либо средних арифметических погрешностей).

5.2. Определение воспроизводимости с использованием значений размахов результатов многократных измерений R'

При использовании значений размахов результатов многократных измерений R' для оценки сходимости нескольких серий измерений, параметр R'_i для каждой серии рассчитывают по формуле:

$$R' = X_{\max} - X_{\min}. \quad (5.1)$$

Геометрическое представление размаха R' результатов измерений можно получить на точечной диаграмме результатов многократных измерений физической величины, которая строится в системе координат «номера наблюдений n_i – результаты наблюдений при измерениях X_i (рис. 5.1). Идеальная точечная диаграмма (рис. 5.1, *a*) представляет собой множество точек на одной высоте, соответствующей истинному значению измеряемой физической величины. Поскольку отсутствуют какие-либо тенденции изменения результатов – все точки лежат на прямой, параллельной оси абсцисс, можно говорить об отсутствии переменных систематических погрешностей. Отсутствие отклонений точек от этой прямой свидетельствует об отсутствии случайных погрешностей.

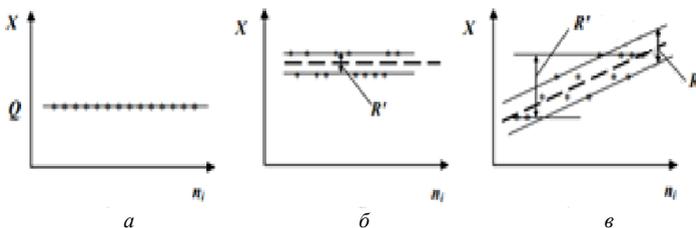


Рис. 5.1. Точечные диаграммы результатов измерений с многократными наблюдениями

На рис. 5.1, *б*, 5.1, *в* приведены диаграммы, отличающиеся от идеальных наличием погрешностей, которые ограничивают определенность измерительной информации. В качестве первичных оценок неопределенностей можно использовать размахи результатов в сериях. На рис. 5.1, *б* очевидно отсутствует сходимость результатов в серии. Заметное рассеяние результатов наблюдений относительно возможной горизонтальной аппроксимирующей прямой (штриховая линия) можно оценить размахом R' .

Наличие устойчивой тенденции изменения (увеличения) результатов измерений на рис. 5.1, в) свидетельствует о влиянии на результаты измерений некоторых закономерно изменяющихся факторов, вызывающих систематические погрешности в серии (имеется очевидное нарушение правильности измерений).

На этой точечной диаграмме проведена наклонная аппроксимирующая прямая (штриховая линия), соответствующая наблюдаемой тенденции. На диаграмме показаны два размаха результатов – общий размах R' , вызванный комплексным влиянием систематических и случайных воздействий, и размах R , определяемый случайными отклонениями результатов от аппроксимирующей линии (последний характеризует рассеяние, свободное от влияния систематических воздействий).

Выполнение нескольких серий измерений одной и той же физической величины с использованием разных методик выполнения измерений (МВИ) позволяет оценить воспроизводимость измерений.

На рис. 5.2 представлены точечные диаграммы двух серий измерений, полученные при использовании двух разных МВИ. Диаграммы построены в одной координатной сетке с одинаковым масштабом, что позволяет непосредственно сопоставлять их размахи. На рисунке видно, что наблюдается низкая воспроизводимость измерений, поскольку не совпадают ни средние значения, ни размахи в сериях.

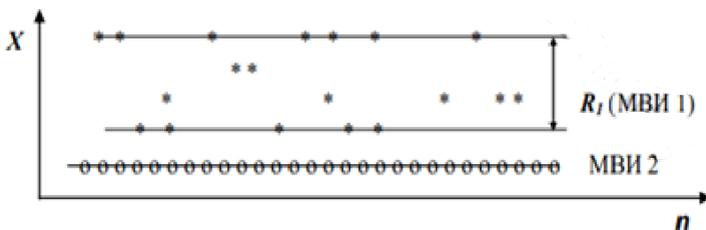


Рис. 5.2. Точечные диаграммы двух серий многократных измерений

5.3. Определение показателей воспроизводимости методом статистического анализа

При анализе точности выполненных измерений в различных лабораториях в первую очередь рассчитывают следующие оценки:

- среднее значение каждой лаборатории (МВИ) \bar{y} и общее среднее $\bar{\bar{y}}$ между ними;
- внутрилабораторная дисперсия (или дисперсия каждой МВИ) S_w^2 ,

$$S_W^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (5.2)$$

где x_i – единичный результат измерения;

n – количество результатов измерений в лаборатории (по МВИ);

- дисперсия повторяемости S_r^2 – среднее арифметическое ний S_W^2 ;

- межлабораторная дисперсия, отражающая изменчивость между МВИ (или операторами) S_L^2 ,

$$S_L^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{m-1}, \quad (5.3)$$

где m – количество задействованных лабораторий (МВИ);

- дисперсия воспроизводимости S_R^2

$$S_R^2 = S_r^2 + S_L^2. \quad (5.4)$$

Стандартное отклонение повторяемости σ_r и воспроизводимости σ_R вычисляются как корень квадратный из соответствующей дисперсии.

В обычной лабораторной практике требуется исследование разности, наблюдаемой между результатами испытаний. Для этой цели более необходимо наличие некоторой меры, схожей скорее с критической разностью, чем со стандартным отклонением. Процесс оценки точности предполагает получение оценок истинного стандартного отклонения, в то время как истинное значение стандартного отклонения все равно остается неизвестным. Поэтому в статистической практике принято обозначать эти оценки буквой S .

Но если оценки будут определяться на основе некоторого значительного числа результатов испытаний и будут давать наилучшую информацию, для нахождения истинных значений стандартных отклонений, то целесообразным представляется использовать символ для обозначения стандартного отклонения, полученного на основе результатов полномасштабного эксперимента по оценке прецизионности и использовать его как истинное стандартное отклонение, с которым будут сравниваться другие оценки S .

5.4. Экспериментальная часть

Объектом исследования является физическая величина – давление, величина которого измеряется на стенде пружинным деформационным

манометром. Реле давления установлено внутри модуля гидравлического управления.

5.5. Порядок выполнения работы

1. Запишите тему и цель работы.
2. Изучите основные теоретические сведения по работе.
3. Выполните три серии многократных измерений одной и той же физической величины ($n = 10$).

Целесообразно проводить измерение давления в системе с применением разных средств измерений. Результаты занесите в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Результаты серий многократных измерений давления в системе

№ МВИ	Номер наблюдения n								
	1	2	3	4	5	6	10	среднее
МВИ1									
МВИ2									
МВИ3									

4. По результатам измерений постройте точечные диаграммы (можно совместить на одной диаграмме, обозначая результаты измерения каждой МВИ разными маркерами) в координатах «номер наблюдений n – результат измерения X_i и проведите анализ каждой серии и совместный анализ точечных диаграмм. По оси ординат диаграммы предпочтительно откладывать не результаты измерений, а отклонения результатов от среднего значения. Масштаб желательно выбрать таким, чтобы размах R' на диаграмме можно было оценить двумя значащими цифрами. Анализ результатов каждой отдельной серии включает оценку размахов результатов измерений и оценку наличия тенденции изменения. При наличии явно выраженной тенденции оценивают размах результатов R' (общий размах), затем на диаграмму наносят аппроксимирующую линию и оценивают размах отклонений от аппроксимирующей линии R , складывая по модулю максимальные отклонения от нее с противоположными знаками. Результаты анализа запишите в произвольной форме под соответствующими диаграммами. Оцените расхождение средних значений. Воспроизводимость измерений в трех сериях оцените по степени совпадения размахов и аппроксимирующих линий. При наличии в сериях отличающихся тенденций воспроизводимость, как правило, низкая, даже если результаты будут практически равномерными ($R3 \approx R2 \approx R1$).

5. Рассчитайте необходимые оценки дисперсий.
6. Определите пределы повторяемости и воспроизводимости. Проведите анализ критических разностей результатов, полученных по МВИ2 и МВИ3. Сравните эти результаты с эталонным значением, в качестве которого принят результат, полученный с использованием МВИ1. Сделайте выводы о воспроизводимости результатов.

5.6. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по данной работе должен содержать:

1. Результаты серий многократных измерений давления, как в табл. 5.1.
2. Совместную точечную диаграмму трех серий измерений с необходимыми обозначениями.
3. Результаты анализа воспроизводимости с применением метода графического анализа размахов и сделанные выводы.
4. Результаты вычисления дисперсий повторяемости и воспроизводимости, стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости, пределов повторяемости и воспроизводимости.
5. Результаты анализа и выводы о воспроизводимости результатов, полученные методом статистической обработки.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерение физической величины?
2. Какие свойства используют для оценки качества измерений?
3. Дать определение воспроизводимости результатов измерений.
4. Дать определение сходимости результатов измерений.
5. Дать определение прецизионности результатов измерений.
6. Чем определяется общий размах измерений физической величины?

Лабораторная работа 6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПРЕССОРА (ГИДРОАККУМУЛЯТОРА)

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) изучение систем автоматического регулирования, используемых в водоснабжении, с принципом регулирования по давлению; 2) экспериментальные исследования САР.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

6.1. Теоретические сведения

Системы автоматического регулирования по уровню в водоснабжении применяются в основном в сельской местности. Основным отличительным признаком такого типа систем является наличие водонапорной башни.

САР с регулированием по давлению находят применение, в основном, в городах. В этом случае резервуары с водой не возвышаются над зданиями, как это имеет место в САР с регулированием по уровню, а, как правило, их располагают ниже уровня поверхности земли. Для создания избыточного давления используются компрессоры, с помощью которых нагнетается воздух в резервуары с водой.

В последнее время САР с регулированием по давлению находят также применение в водоснабжении отдельных потребителей (коттеджей, дачных участков и т. д.). Естественно, что в этом случае САР имеют небольшие размеры.

6.2. Экспериментальная установка

Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рис. 6.1.

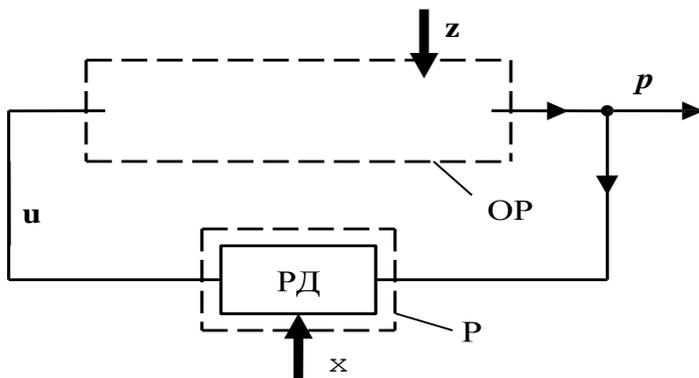


Рис. 6.1. Функциональная схема САР с регулированием по давлению

Как видно из рис. 6.1, САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р. Основными устройствами, входящими в объект регулирования, являются пневматический бак ПБ (резервуар с водой) и насосная установка НУ, включающая центробежный насос с приводным однофазным электродвигателем. Регулятором в данном случае является реле давления РД. Реле давления управляет контактами, замыкающими и размыкающими электрическую цепь управления электродвигателем насосной установки.

Возмущающим воздействием z является расход воды потребителями. Задающим воздействием x являются воздействия, направленные на регулирование верхнего и нижнего порогов срабатывания реле давления.

Пневматический бак представляет собой резервуар, разделенный водонепроницаемой упругой диафрагмой, по одну сторону которой находится вода, а по другую – воздух под давлением. Предусмотрена возможность изменения давления воздуха, для чего в корпус пневмобака установлен ниппель с золотником, имеющий такие же присоединительные размеры, как и ниппель с золотником автомобильного колеса (место установки ниппеля с золотником закрыто резиновой заглушкой).

Расход воды из пневматического бака на стенде осуществляется в верхний бак Б2 через трубопровод, в котором установлен вентиль. С помощью вентиля имеется возможность изменения сопротивления сети потребителей. Таким образом, с помощью трубопровода с установленным в нем вентилем и верхнего бака на стенде имитируется система потребления воды. Из верхнего бака вода затем перетекает в нижний бак, откуда затем всасывается насосом. Следует отметить, что гидравлическая схема стенда позволяет реализовывать различные варианты соединения пневматического бака с верхним гидробаком. При одном из вариантов соединения вода из пневматического бака поступает в верхний гидробак через расходомер РА.

6.3. Экспериментальная часть

6.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью переключателей со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 6.2 (на передней панели модуля электрического управления).

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В4 полностью открыть, также целесообразно открыть вентиль В6 (при этом рукоятка управления вентилем В6 должна быть установлена параллельно оси трубопровода).

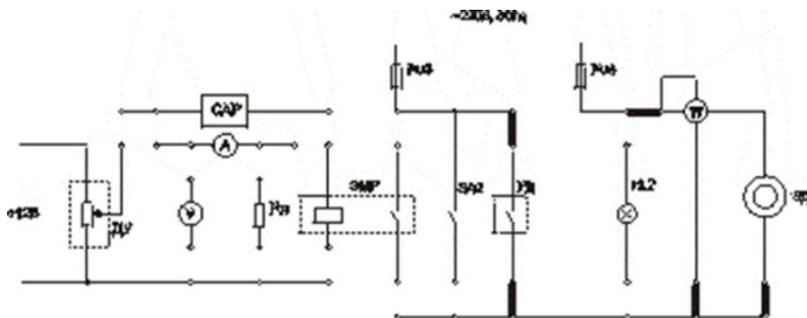


Рис. 6.2. Схема электрических соединений

6.3.2. Порядок выполнения работы

После выполнения условий, описанных в п. 6.3.1, необходимо:

1. Закрыть вентиль В2 и включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Насос начнет подавать воду в пневматический бак. При достижении давлением в баке значения, равного верхнему порогу срабатывания реле давления $p_{\text{верх},i}$ насосная установка отключится. Необходимо зафиксировать по манометру значение $p_{\text{верх},i}$, а также показание расходомера $V_{\text{нач},i}$. Затем следует приоткрыть вентиль В2, при этом начнется процесс опорожнения пневматического бака в верхний бак и давление (см. по манометру) будет уменьшаться. При достижении давлением нижнего порога срабатывания реле давления $p_{\text{ниж},i}$ насосная установка включится. В момент включения насосной установки необходимо зафиксировать $p_{\text{ниж},i}$, а также показание расходомера $V_{\text{кон},i}$. Результаты измерений необходимо занести в табл. 6.1 и отключить электрическое питание стенда.

Опыты по п. 1 необходимо повторить трижды.

2. Определить зависимость затрат электрической энергии от расхода воды потребителями. Для этого необходимо включить на модуле

электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку «Вкл») и провести два опыта при различных степенях открытия вентиля В2. В первом опыте вентиль В2 необходимо полностью открыть. Продолжительность каждого опыта рекомендуется ограничить пятью включениями (срабатываниями) насосной установки.

Таблица 6.1. Результаты исследований по определению параметров регулирования

i – номер опыта	Пороговые значения давлений, кгс/см ²		Показания расходомера, м ³		$V_{\text{об.}i}$ – объем пневматического бака, заполняемый водой, м ³	$V_{\text{об.ср}}$ – среднее значение	Средние пороговые значения давлений, кгс/см ²	
	$P_{\text{верх.}i}$	$P_{\text{ниж.}i}$	$V_{\text{нач.}i}$	$V_{\text{кон.}i}$			$P_{\text{верх.ср}}$	$P_{\text{ниж.ср}}$
1								
2								
3								

3. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) $V_{\text{нач}}$. Тумблер на модуле электрического управления необходимо установить в положение «Пуск». При этом насосная установка начнет подавать воду в пневматический бак и одновременно в верхний бак (к потребителям). Система будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку «Счет». Опыт закончить в момент включения в шестой раз насосной установки. При этом следует, нажав кнопку «Пуск», остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта $t_{\text{оп}}$ и показание скоростного расходомера $V_{\text{кон}}$. Также при каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время t_{pk} , в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{\text{эл.к}}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножать на 10). Результаты испытаний занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Результаты исследований САР

Номер опыта	k – порядковый номер срабатывания насосной установки	$t_{р.к}$ – время работы насосной установки при i -м срабатывании	$W_{эл.к}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт	Показания расходомера		$t_{оп}$ – продолжительность опыта, с	$Q_{ср}$ – средний расход воды, м ³ /с	A – потребляемая в течение опыта энергия, кВт·ч
				$V_{нач}$ – начальное, м ³	$V_{кон}$ – конечное, м ³			
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

6.4. Обработка результатов

Обработку результатов начинаем с расчета объема пневматического бака, заполняемого водой:

$$V_{пб.i} = V_{кон.i} - V_{нач.i}.$$

Среднее значение объема бака, заполняемого водой:

$$V_{пб.ср} = \sum_{i=1}^3 V_{пб.i} / 3.$$

Средние пороговые значения давлений:

$$P_{верх.ср} = \sum_{i=1}^3 P_{верх.i} / 3;$$

$$P_{ниж.ср} = \sum_{i=1}^3 P_{ниж.i} / 3.$$

Средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2, равен потребляемому расходу), т. е.

$$Q_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}}{t_{\text{оп}}}.$$

Потребляемая в течение опыта энергия:

$$A = \sum_{i=1}^3 W_{\text{эл.к}} t_{\text{р.к}}.$$

При вычислении A необходимо значение $W_{\text{эл.к}}$ подставлять в кВт, а $t_{\text{р.к}}$ – в часах.

Результаты вычислений необходимо занести в табл. 6.2, а затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{\text{ср}})$.

Контрольные вопросы

1. Какие устройства входят в состав объекта регулирования и регулятора?
2. Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР? По какому параметру осуществляется регулирование?
3. Поясните методику экспериментальных исследований по определению параметров САР: пороговых значений давлений срабатывания, объема пневматического бака, заполняемого водой.
4. Как изменится объем пневматического бака, заполняемый водой, при увеличении и уменьшении давления воздуха в баке?
5. Поясните методику экспериментальных исследований САР по определению зависимости потребления энергии насосной установкой от расхода воды потребителями.

Лабораторная работа 7. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРИДЦАТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) изучить характеристики качества измерений и простейшие способы их оценивания при выполнении многократных измерений; 2) получить серию из 30 измерений верхнего порога сраба-

7.3. Порядок выполнения работы

7.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью переключателей со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 7.2 (на передней панели модуля электрического управления).

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В4 полностью открыть, также целесообразно открыть вентиль В6 (при этом рукоятка управления вентилем В6 должна быть установлена параллельно оси трубопровода).

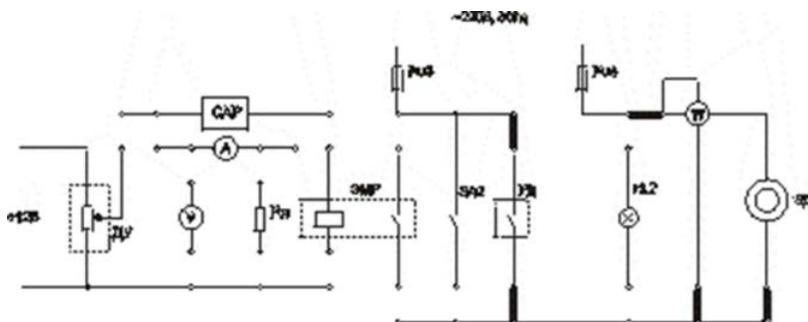


Рис. 7.2. Схема электрических соединений

7.3.2. Методика испытаний

После выполнения условий, описанных в п. 7.3.1, необходимо:

1. Закрывать вентиль В2 и включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. Насос начнет подавать воду в пневматический бак. При достижении давлением в баке значения, равного верхнему порогу срабатывания реле давления $p_{\text{верх},i}$ насосная установка отключится. Необходимо зафиксировать по манометру значение $p_{\text{верх},i}$. Затем следует приоткрыть вентиль В2, при этом начнется процесс опорожнения пневматического бака в верхний бак и давление (см. по манометру) будет уменьшаться. При достижении дав-

лением нижнего порога срабатывания реле давления $p_{\text{ниж},i}$ насосная установка включится. Установка будет работать в автоматическом режиме. Фиксировать необходимо момент отключения насосной установки $p_{\text{верх},i}$.

2. Расход воды из пневматического бака на стенде осуществляется в верхний бак Б2 через трубопровод, в котором установлен вентиль. С помощью вентиля В2 меняем сопротивление сети потребителей для трех серий опытов.

3. Выполните три серии многократных измерений одной и той же физической величины верхнего порога срабатывания реле давления $p_{\text{верх},i}$ ($n = 10$).

4. Результаты измерений необходимо занести в табл. 7.1 и отключить электрическое питание стенда.

Таблица 7.1. Результаты серий многократных измерений давления в системе

№ МВИ	Номер наблюдения n								
	1	2	3	4	5	6	10	среднее
МВИ1									
МВИ2									
МВИ3									

5. По результатам измерений постройте точечные диаграммы (можно совместить на одной диаграмме, обозначая результаты измерения каждой МВИ разными маркерами) в координатах «номер наблюдений n – результат измерения X_i и проведите анализ каждой серии и совместный анализ точечных диаграмм. По оси ординат диаграммы предпочтительно откладывать не результаты измерений, а отклонения результатов от среднего значения. Масштаб желательно выбрать таким, чтобы размах R' на диаграмме можно было оценить двумя значащими цифрами. Анализ результатов каждой отдельной серии включает оценку размахов результатов измерений и оценку наличия тенденции изменения. При наличии явно выраженной тенденции оценивают размах результатов R' (общий размах), затем на диаграмму наносят аппроксимирующую линию и оценивают размах отклонений от аппроксимирующей линии R , складывая по модулю максимальные отклонения от нее с противоположными знаками. Результаты анализа запишите в произвольной форме под соответствующими диаграммами. Оцените расхождение средних значений. Воспроизводимость измерений в трех сериях оцените по степени совпадения размахов и аппрок-

симирующих линий. При наличии в сериях отличающихся тенденций воспроизводимость, как правило, низкая, даже если результаты будут практически равнодисперсными ($R3 \approx R2 \approx R1$).

6. Рассчитайте необходимые оценки дисперсий.

7. Определите пределы повторяемости и воспроизводимости. Проведите анализ критических разностей результатов, полученных по МВИ2 и МВИ3. Сравните эти результаты с эталонным значением, в качестве которого принят результат, полученный с использованием МВИ1. Сделайте выводы о воспроизводимости результатов.

7.4. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по данной работе должен содержать:

1. Результаты серий многократных измерений давления, как в табл. 7.1.
2. Совместную точечную диаграмму трех серий измерений с необходимыми обозначениями.
3. Результаты анализа воспроизводимости с применением метода графического анализа размахов и сделанные выводы.
4. Результаты вычисления дисперсий повторяемости и воспроизводимости, стандартных отклонений повторяемости и воспроизводимости, пределов повторяемости и воспроизводимости.
5. Результаты анализа и выводы о воспроизводимости результатов, полученные методом статистической обработки.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные показатели воспроизводимости результатов физической величины?
2. Как вы понимаете дисперсию повторяемости и воспроизводимости?
3. Как вы понимаете общий размах измерений физической величины?

Лабораторная работа 8. ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ ВЛАГОМЕРА МГ-44 Э

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) изучить устройство, принцип действия, технические характеристики и сведения, необходимые для правильной эксплуатации (использования, транспортирования, хранения и технического обслуживания) электронного цифрового измерителя влажности грунта МГ-44; 2) получить измерения влажности различных грунтов.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

8.1. Теоретические сведения

Для определения влажности грунтов применяются различные методы. Лабораторные методы, регламентируемые стандартами Республики Беларусь, применяются для точной оценки влажности. В мелиорации и строительстве точное определение влажности необходимо для последующего расчета плотности сухого грунта и коэффициента уплотнения или определения оптимальной влажности грунта и установления допустимых пределов варьирования коэффициента увлажнения и т. п. Лабораторные эксперименты проводятся в течение определенного времени, зависящего от вида грунта, вследствие чего лаборатория не имеет возможности оперативно сообщить данные о влажности грунта. Полевые испытания грунтов выполняются с целью экспресс оценки показателей физических свойств. Поэтому данные о влажности грунтов получают сразу после выполнения измерений. Такие данные обладают меньшей точностью, но быстрота определения влажности позволяет оперативно отреагировать на ситуацию и принять соответствующее решение о необходимости увлажнения или осушения грунтов.

8.2. Определение влажности грунтов методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180-84

При реализации этого способа влажность грунта определяют отношением массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта.

При выполнении лабораторного теста по ГОСТ 5180-84 выделяют три стадии:

1. Подготовка к испытанию.
2. Проведение испытания.
3. Обработка результатов испытаний.

Подготовка к испытанию состоит в том, что для определения влажности отбирают пробу грунта массой 15–50 г и помещают в заранее высушенный, взвешенный и пронумерованный стаканчик и плотно закрывают крышкой.



Рис. 8.1. Аллюминиевые стаканчики для взвешивания (бюксы)



Рис. 8.2. Взвешивание пустого стаканчика и крышки для определения массы

Выполнение испытания начинают со взвешивания пробы грунта в закрытом стаканчике и определяют его массу. После этого стаканчик открывают и вместе с крышкой помещают в нагретый сушильный шкаф.



Рис. 8.3. Взвешивание стаканчика с грунтом и крышкой



Рис. 8.4. Стаканчики с грунтом и крышками в сушильном шкафу

Сушильный шкаф закрывают и производят сушку грунта, называемую первым высушиванием. Температура сушки грунта должна составлять 105 ± 2 °С. Продолжительность этого высушивания зависит от подвида дисперсного грунта. Так, песчаные грунты сушат в течение 3 ч, а остальные – 5 ч. После сушки образец грунта вместе со стаканчиком для взвешивания охлаждают до температуры помещения, используя эксикатор с хлористым кальцием. Охлажденный образец в стаканчике, закрытом крышкой, взвешивают и, открыв крышку, помещают в сушильный шкаф для повторного высушивания.

Температура повторного, а если потребуется, то и всех остальных высушиваний такая же, как и при первом высушивании грунта, продолжительность повторных высушиваний должна составлять 1 ч для песчаных грунтов. После повторного высушивания образцы охлаждают и вновь взвешивают. Операции повторного высушивания, охлаждения и взвешивания повторяют до тех пор, пока разность масс грунта со стаканчиком и крышкой при двух последующих взвешиваниях не будет превышать 0,2 г.

В тех случаях, когда при повторном взвешивании грунта, содержащего органические вещества, наблюдается увеличение массы, то за результат взвешивания принимают наименьшую массу.

Завершив испытание, влажность грунта определяют по формуле

$$w = 100 \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m}, \quad (8.1)$$

где m – масса пустого стаканчика с крышкой, г;

m_1 – масса влажного грунта со стаканчиком и крышкой, г;

m_0 – масса высушенного грунта со стаканчиком и крышкой, г.

8.2.1. Определение влажности грунтов методами и приборами для экспресс-оценки

Для определения влажности грунта непосредственно на мелиоративном объекте или строительной площадке применяют методы и приборы экспресс оценки. Приборы, позволяющие выполнять такую оценку, называют влагомерами грунта (рис. 8.5 и 8.6).



Рис. 8.5. Влагомер почв, песка и грунта TDR-100



Рис. 8.6. Влагомер грунта МГ-44

В настоящее время производители предлагают такие приборы, снабженные зондами различной длины, что позволяет определять влажность грунта как на поверхности, так и на разных глубинах отсыпаемого технологического слоя земляного полотна. Влагомеры просты в использовании, но требуют калибровки. Порядок работ по калибровке подробно описывается производителями в инструкциях по эксплуатации.

Так, влагомер МГ-44 позволяет создать и занести в память процессора любую калибровочную кривую для любого типа грунта. При измерении электрод нужно погрузить в грунт и включить прибор.

Порядок работ по калибровке подробно описывается производителями в инструкциях по эксплуатации.

Так, влагомер МГ-44 позволяет создать и занести в память процессора любую калибровочную кривую для любого типа грунта.

При измерении электрод нужно погрузить в грунт и включить прибор кнопкой, расположенной слева на корпусе (рис. 8.7). На дисплее в первой строке появится название продукта, первого в списке калибровок. Во второй строке слева будет указано значение влажности в процентах: «Н = ...%», а справа – индикатор заряда батареи. На рис. 8.8 представлены показания прибора, в соответствии с которыми первым продуктом является чернозем, а влажность вследствие того, что электрод не погружен в грунт, имеет нулевое значение (Н = 0 %).

Для выбора другого грунта нужно нажать кнопку со стрелкой «Влево» (рис. 8.9), при помощи которой выполняется переход к списку калибровок (продуктов), хранящихся в памяти прибора. Нажатием кнопок «Влево» или «Вправо» выбирается нужная строка (рис. 8.10).



Рис. 8.7. Включение прибора МГ-44



Рис. 8.8. Название первого продукта в списке калибровок



Рис. 8.9. Нажатие кнопки «Влево» для входа в список калибровок



Рис. 8.10. Выбор нужной строки «Песок»

После появления нужной строки (см. рис. 8.11) нажимается кнопка «Ввод» и на дисплее появляются название продукта и его влажность. На рис. 8.11 приведена измеренная влажность образца песка.



Рис. 8.11. Влажность песка, измеренная прибором МГ-44

Если влажность грунта, измеренная в лаборатории методом высушивания до постоянной массы, отличается от показаний прибора МГ-44, то возможно внести поправки в показания влагомера. Возможная величина поправки находится в пределах $\pm 5\%$, а шаг составляет $0,1\%$.

Для этого выполняется следующая процедура:

1. Погружение электрода в грунт с известной влажностью.

2. Нажимается кнопка включения.

3. Выбирается в списке нужный грунт.

4. Нажимается «Ввод».

5. Нажимается и удерживается кнопка «Вверх» до тех пор, пока на дисплее во второй строке между показаниями влажности и символом заряда батареи не появится значение поправки в процентах. Например, $-0,5\%$.

6. Кнопка «Вверх» отпускается, а управляя кнопками «Влево» или «Вправо», устанавливается желаемая поправка.

Одновременно с внесением поправки слева внизу меняется и значение влажности, уже скорректированное. Установив желаемое значение и нажимая «Ввод», поправку удаляют с дисплея. Форма калибровочной кривой при внесении поправки не изменяется. Происходит только параллельный перенос характеристики «вниз» или «вверх» в пределах $\pm 5\%$. Поправка для каждого из 99 каналов своя и независима.

8.3. Экспериментальная часть

8.3.1. Назначение прибора

Электронный цифровой измеритель влажности МГ-44 (именуемый в дальнейшем прибор), предназначен для измерения относительной влажности грунта при помощи чувствительного радиочастотного датчика.

1. Определение влажности производится с использованием косвенного метода измерения, основанного на зависимости диэлектрических свойств среды от ее влажности. Увеличение диэлектрической проницаемости тестируемого образца, при неизменной температуре, свидетельствует об увеличении содержания воды в материале.

2. Прибор предназначен для работы в районах с умеренным климатом. По защищенности от воздействия окружающей среды, прибор имеет обыкновенное исполнение. В окружающем воздухе в месте установки прибора допускается наличие агрессивных паров и газов и паров в пределах санитарных норм, согласно нормам СН-245-71.

8.3.2. Технические данные

1. Диапазон измеряемой прибором относительной влажности грунта, %: 1–40(100) зависит от калибровки.
 2. Предел основной абсолютной погрешности во всем диапазоне измерения влажности, %: ± 1 (в указанную погрешность укладывается 90 % измерений).
 3. Время установления рабочего режима, с: 3.
 4. Время единичного измерения, с: не более 3.
 5. Питание прибора осуществляется от внутреннего источника ± 10 постоянного тока +9 вольт.
 6. Отсчет измеряемой относительной влажности производится по жидкокристаллическому индикатору, расположенному на передней панели индикаторного устройства.
 7. Габаритные размеры индикаторного устройства, мм: 145×80×40.
 8. Датчика: длина электрода – 500 мм, длина корпуса датчика – 140 мм, диаметр – 10 мм.
 9. Масса, кг: не более 0,3.
 10. Температура анализируемого грунта: $-20 \dots +60$ °С.
 11. Температура окружающего воздуха: от -20 до $+70$ °С.
 12. Изменение показаний прибора от изменения температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С относительно нормальной (20 °С), в пределах от +1 °С до +40 °С, не превышает 0,2 значения основной абсолютной погрешности.
 13. Потребляемая электрическая мощность прибора, не более 0,1 Вт.
- В состав влагомера входят: датчик; устройство обработки данных и индикации; сигнальный кабель 0,7 м.

8.4. Устройство и работа прибора

Общий принцип работы прибора состоит в следующем:

датчик излучает направленную электромагнитную волну высокой частоты, часть которой поглощается на молекулах воды, при распространении в веществе, а часть отражается в направлении датчика. Измеряя коэффициент отражения волны от вещества, который прямо пропорционален содержанию воды, выводим значение относительной влажности на индикатор.

На передней панели прибора находятся: жидкокристаллический индикатор, кнопки управления микропроцессором. В верхней части

корпуса находятся ввод сигнального кабеля. Корпус датчика герметичный, в тыльной части находится сигнальный разъем.

8.5. Порядок выполнения работы

1. При измерении, электрод погрузить в грунт.

2. Включить прибор кнопкой, расположенной слева на корпусе. Кнопку необходимо удерживать в процессе работы с прибором.

На дисплее Вы увидите: в первой строке название продукта первого в списке калибровок, во второй слева – значение влажности в %: «Н = ...%», справа-индикатор заряда батареи.

3. Нажав кнопку со стрелкой «Влево», Вы переходите к списку калибровок, хранящихся в памяти прибора. С помощью кнопок «Влево», «Вправо» выбираете нужную строку, нажимаете «Ввод» – на дисплее название продукта и его влажность.

4. Вы можете внести поправку (в пределах $\pm 5\%$ с шагом $0,1\%$) в показания прибора в случае, если показания прибора и влажность продукта, полученная лабораторным термостатно-весовым методом, не совпадают. Для этого выполните следующую процедуру:

1. Погрузите датчик в грунт, влажность которого точно известна.

2. Нажмите кнопку включения

3. Выберите в списке нужную Вам строку.

4. Нажмите «Ввод».

5. Нажмите и удерживайте кнопку с изображением стрелки «Вверх» до тех пор, пока на дисплее во второй строке между показателями влажности и символом заряда батареи не появится значение поправки в %. Например:

ГРУНТ
Н=25,0% -0.5%

Отпускайте кнопку со стрелкой «Вверх».

С помощью кнопок установите желаемую поправку.

Одновременно с внесением поправки слева внизу меняется и значение влажности, уже скорректированное. Установив желаемое значение, жмите «Ввод», и значение поправки исчезнет с дисплея.

Форма калибровочной кривой при внесении поправки не изменяется. Происходит только параллельный перенос характеристики «вниз-вверх» в пределах $\pm 5\%$.

Поправка для каждого из 99 каналов своя и независима.

5. Выполните три серии многократных измерений одной и той же физической величины w влажности грунта на экспериментальном участке ($n = 10$) для различных грунтов.

6. Результаты измерений необходимо занести в табл. 8.1 и выключить влагомер.

Таблица 8.1. Результаты серий многократных измерений влажности грунта

№ МВИ	Номер наблюдения n									
	1	2	3	4	5	6	10	среднее	
МВИ1										
МВИ2										
МВИ3										

8.6. Обработка результатов

1. Используя результаты измерения влажности, необходимо определить средние арифметические значения $w_{\text{ср}}$ для различных грунтов.

2. Необходимо также, используя выражение (8.2), определить допустимую погрешность измерения влажности влагомером МГ-44 Э.

Контрольные вопросы

1. Классификация, устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения приборов для измерения влажности грунта.

2. Устройство, принцип действия, достоинства и недостатки, области применения влагомера МГ-44 Э.

3. Методика экспериментальных исследований влажности грунта с помощью влагомера МГ-44 Э.

Лабораторная работа 9. ОЦЕНКА ГИСТЕРЕЗИСА ДАТЧИКА И ПОГРЕШНОСТИ ТРИДЦАТИ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) приобретение навыков применения средств измерений и экспериментального определения их основных классификационных признаков; 2) изучение и освоение вероятностно-статистического

метода обработки результатов многократных наблюдений; 3) приобретение навыков математической обработки результатов прямых равно- точных измерений с многократными наблюдениями в соответствии с ГОСТ 8.736 и представления результата измерений.

Материалы для выполнения работы: используемые технические средства – влагомер МГ-44 Э.

9.1. Теоретические сведения

9.1.1. Алгоритм обработки результатов наблюдений

Обработку результатов наблюдений проводят в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения». Определение точечных оценок закона распределения

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}.$$

Построение экспериментального закона распределения результатов многократных наблюдений:

а) в табл. 9.1 записать вариационный ряд результатов многократных наблюдений x_i ;

б) определить число интервалов группирования по формуле

$$m = 3,3 \lg(n) + 1, \text{ (для } n = 20, m = (5 - 6)\text{);}$$

в) вычислить интервалы группирования вариационного ряда; $h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}$ и разбить границы первого интервала $m_1: (x_{\min}; x_{\min} + h)$; граница второго интервала равна $m_2: (x_{\min} + h; x_{\min} + h + h)$ и т. д.;

г) вычислить относительные частоты:

$$\bar{n}_j = \frac{n_j}{n},$$

где $j = 1, \dots, m$;

n_j – число значений x из вариационного ряда, попавших в j -й интервал группирования;

д) по результатам измерений построить гистограмму (гистограмма строится аналогично как и в лабораторной работе 3);

е) определить границы неисключенной систематической погрешности (определение границ неисключенной систематической погрешности производится аналогично, как показано в лабораторной работе 3).

9.2. Устройство и работа прибора

Общий принцип работы прибора состоит в следующем: Датчик излучает направленную электромагнитную волну высокой частоты, часть которой поглощается на молекулах воды, при распространении в веществе, а часть отражается в направлении датчика. Измеряя коэффициент отражения волны от вещества, который прямо пропорционален содержанию воды, выводим значение относительной влажности на индикатор.

На передней панели прибора находятся: жидкокристаллический индикатор, кнопки управления микропроцессором. В верхней части корпуса находится ввод сигнального кабеля. Корпус датчика герметичный, в тыльной части находится сигнальный разъем.

9.3. Экспериментальная часть

9.3.1. Порядок выполнения работы

Заполнить для используемых средств измерений (СИ) табл. 9.1.

Таблица 9.1. Классификационные признаки средства измерений

Классификационный признак	Влагомер МГ-44 Э
Вид СИ	
Тип выходной величины	
Форма представления информации	
Назначение	
Метрологическое назначение	
Нормируемые метрологические характеристики СИ	

1. Привести прибор в рабочее состояние.
2. При измерении электрод погрузить в грунт.
3. Включить прибор кнопкой, расположенной слева на корпусе. Кнопку необходимо удерживать в процессе работы с прибором.

На дисплее Вы увидите: в первой строке название продукта первого в списке калибровок, во второй слева – значение влажности в %: «Н = ...%», справа – индикатор заряда батареи.

4. Нажав кнопку со стрелкой «Влево», перейти к списку калибровок, хранящихся в памяти прибора. С помощью кнопок «Влево», «Вправо» выбрать нужную строку, нажать «Ввод» – на дисплее название продукта и его влажность.

5. Выполните серию многократных измерений одной и той же физической величины w влажности грунта на экспериментальном участке ($n = 10$) для одного грунта.

6. Результаты измерений необходимо занести в табл. 9.1 и выключить влагомер.

7. Произвести ряд независимых многократных наблюдений влажности грунта – x . Результаты записать в табл. 9.2 (графы 1, 2) с указанием влажности и единицы измерения.

Таблица 9.2. Наблюдение за влажностью грунта

n_i	x_i , влажность	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	$x^i - \bar{x}$	Вариационный ряд	n_j	\bar{n}_j
1	2	3	4	5	6	7
1	x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$	Δx_{\min}		
2	x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_{21} - \bar{x})^2$			
...		
19	x_{19}	$x_{19} - \bar{x}$	$(x_{19} - \bar{x})^2$			
30	x_{30}	$x_{30} - \bar{x}$	$(x_{30} - \bar{x})^2$	Δx_{\max}		
	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$		$\sum_{i=1}^{30} (x_i - \bar{x})^2$			

Количество независимых равноточных измерений – $n > 20$.

8. Провести обработку результатов многократных наблюдений в соответствии с методикой проведения опыта.

9. Записать результат измерения влажности грунта с указанием пределов и доверительной вероятности с соблюдением правил округления.

10. Оформить отчет о проделанной лабораторной работе. Отчет должен содержать: цель работы; перечень используемого оборудования; табл. 9.1 (заполненную); схему эксперимента; результаты эксперимента (табл. 9.2 графы 1, 2); алгоритм обработки результатов эксперимента; выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем смысл многократных измерений?
2. Цель построения гистограммы.
3. Какими погрешностями определяется систематическая составляющая погрешности измерений и какими – случайная составляющая?
4. Как определяются погрешности результатов измерений влажности грунта?

Лабораторная работа 10. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В НАПОРНОМ БАКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРИДЦАТИ ЦИКЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: 1) изучение системы автоматического регулирования с регулированием по уровню;

2) экспериментальные исследования САР.

Материалы для выполнения работы: описание лабораторной установки приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

10.1. Теоретические сведения

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность взаимодействующих в процессе работы элементов, предназначенных для поддержания значения регулируемой величины (координаты) в заданных пределах. Автоматическое регулирование является разновидностью автоматического управления.

На рис. 10.1 представлена функциональная схема САР с регулированием по отклонению. САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р.6.2. Функциональная схема исследуемой в работе системы представлена на рис. 10.1.

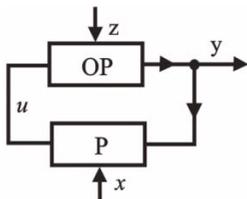


Рис. 10.1. Функциональная схема САР с регулированием по уровню

Все воздействия, приложенные к элементам системы, можно разделить на внешние и внутренние.

Внешние воздействия, в свою очередь, делятся на возмущающие z и задающие x . Возмущающие воздействия приложены к объекту регулирования ОР. Внешние воздействия на САР часто называют входными величинами. Величину, по которой осуществляется регулирование, называют регулируемой или выходной величиной (обозначена на рис. 10.1 буквой « y »).

Воздействия, передаваемые от одного элемента системы к другому, являются внутренними воздействиями системы. Примером внутреннего воздействия в системе является управляющее воздействие u , вырабатываемое регулятором P под влиянием задающего воздействия x и регулируемой величины y .

Если к системе приложена одна входная величина, а регулирование осуществляется по одной выходной (регулируемой) величине, то такую САР называют одномерной.

В приведенной схеме САР реализуется принцип регулирования по отклонению, так как алгоритм регулирования формируется в зависимости от отклонения регулируемой величины y относительно заданного ее значения x . Управляющее воздействие формируется только при условии $\Delta = x - y \neq 0$, то есть при возникновении отклонения Δ . В этом случае

$$u = f(x - y). \quad (10.1)$$

Для измерения отклонения Δ и формирования управляющего воздействия u в схему (рис. 10.1) введена обратная связь. Если в обратную связь включен регулятор (как это имеет место в рассматриваемом случае), то такую обратную связь называют главной. В рассматриваемой САР обратная связь является отрицательной, поскольку, как видно из формулы (10.1), регулируемая величина y и управляющее воздействие u – величины, противоположные по знаку.

Преимуществом принципа регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется независимо от того, какая причина вызвала отклонение регулируемой величины. В этом случае нет необходимости анализировать возмущающие воздействия и выяснять, какое из них привело к отклонению.

Недостатком регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется только после того, как возникнет

ошибка $\Delta = x - y$ в выполнении заданного алгоритма функционирования системы.

На стенде имеется возможность проводить экспериментальные исследования двух типов наиболее распространенных в водоснабжении САР с регулированием по отклонению (уровня и давления).

10.2. Экспериментальная часть

Описание экспериментальной установки приведено в подразделе 2.2.

Объектом исследования в данной лабораторной работе является САР с регулированием по уровню.

Объектом регулирования (ОР) является верхний гидробак стенда Б2, который имитирует водонапорную башню (см. рис. 10.1 и 10.2). При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется забор воды из водонапорной башни потребителями. Расход воды из верхнего бака является возмущающим воздействием (z), которое приводит к отклонению регулируемой величины (y) – уровня воды в баке. Процесс подачи воды в верхний бак механизирован, так как для этого используется насосная установка. Таким образом, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка.

Применение в обратной связи (см. рис. 10.1) объекта регулирования (ОР) регулятора (Р) позволяет автоматизировать процесс управления объектом. В состав регулятора входят потенциометрический датчик уровня поплавкового типа (ДУ), установленный в верхнем баке и электромагнитное реле (ЭМР).

Управляющее воздействие u представляет собой электрический сигнал, подаваемый на электродвигатель насосной установки.

10.3. Проведение испытаний

10.3.1. Подготовка установки к работе

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью перемычек со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рис. 10.2 (на передней панели модуля электрического управления).

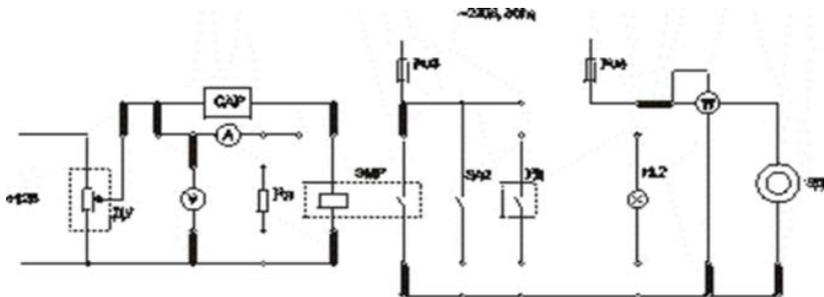


Рис. 10.2. Схема электрических соединений

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть, при этом при работе насоса вода из нижнего бака будет подаваться в верхний бак через расходомер РА.

3. Включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку «ВКЛ»).

10.3.2. Методика проведения испытаний

Испытания проводятся в следующей последовательности:

1. Провести два опыта при различных степенях открытия вентилей В6. В первом опыте вентиль В6 открыть почти полностью (при этом рукоятку управления вентилем необходимо установить почти параллельно оси трубопровода).

2. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) – $V_{нач}$.

3. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. При этом насосная установка начнет подавать воду в верхний бак и в дальнейшем будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку «Счет». Опыт закончить сразу же после десятого срабатывания насосной установки. При этом следует, нажав кнопку «Пуск», остановить секундомер и зафиксировать время проведения опыта $t_{оп}$ и показание скоростного расходомера $V_{кон}$. Также при каж-

дом срабатывания насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время t_{pi} , в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{эл i}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножить на 100).

4. Во время выключения насоса необходимо фиксировать: напряжение U_2 (по вольтметру). Результаты испытаний занести в табл. 10.1.

5. Далее при работающей САР прикрыть вентиль В6 и добиться заметного уменьшения расхода воды из верхнего бака в нижний, что будет соответствовать уменьшению забора воды потребителями (осуществляя настройку вентиля, необходимо следить за скоростью уменьшения уровня в трубке, установленной на верхнем баке). Затем необходимо выключить питание стенда и дождаться полного опорожнения верхнего бака, а также нажать кнопку «Сброс» секундомера.

6. После подготовки стенда к новому опыту необходимо повторно выполнить пункты 2, 3 и 4.

7. После проведения двух опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять перемычки со штекерами с модуля электрического управления.

10.4. Обработка результатов

Средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2, примерно равен потребляемому расходу), т. е.

$$Q_{cp} = \frac{V_{кон} - V_{нач}}{t_{оп}}$$

Потребляемая в течение опыта энергия

$$A = \sum_{i=1}^5 W_{эл i} t_{pi}$$

При вычислении A необходимо значение $W_{эл i}$ подставлять в кВт, а t_{pi} – в часах. Результаты вычислений необходимо занести в табл. 10.1, а затем построить графическую зависимость $A = f(Q_{cp})$ следует отметить, что для получения более достоверной графической зависимости необходимо проводить большее количество опытов).

Таблица 10.1. Результаты исследований

Номер опыта	i – порядковый номер срабатывания насосной установки	t_p – время работы насосной установки при i -м срабатывании	$W_{эл}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт	U_2 – напряжение при остановке насосной установки	Показания расходомера		$t_{оп}$ – продолжительность опыта, с	$Q_{ср}$ – средний расход воды, м ³ /с	A – потребляемая в течение опыта энергия, кВт·ч
					$V_{нач}$ – начальное, м ³	$V_{кон}$ – конечное, м ³			
1	1								
	2								
	3								
	...								
	10								
2	1								
	2								
	3								
	...								
	10								

Далее характеристику используемых средств измерений (СИ) заносим в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Классификационные признаки средств измерений

Классификационный признак	Вольтметр
Вид СИ	
Тип выходной величины	
Форма представления информации	
Назначение	
Метрологическое назначение	
Нормируемые метрологические характеристики СИ	

Производим ряд независимых многократных наблюдений ФВ – x (U_2 – напряжение при остановке насосной установки). Полученные результаты необходимо записать в табл. 10.3 (графы 1, 2) с указанием наименования ФВ и единицы измерения.

Таблица 10.3. Расчет ряда независимых многократных наблюдений ФВ – x

n_i	x_i	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	$x^i - \bar{x}$	Вариационный ряд	n_j	\bar{n}_j
1	2	3	4	5	6	7
1	x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$	Δx_{\min}		
2	x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_{21} - \bar{x})^2$			
...		
19	x_{19}	$x_{19} - \bar{x}$	$(x_{19} - \bar{x})^2$			
30	x_{30}	$x_{30} - \bar{x}$	$(x_{30} - \bar{x})^2$	Δx_{\max}		
	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$		$\sum_{i=1}^{30} (x_i - \bar{x})^2$			

Количество независимых равноточных измерений – $n > 20$.

Проводим обработку результатов многократных наблюдений в соответствии с методикой ГОСТ 8.736 .

Записать результат измерения ФВ с указанием пределов и доверительной вероятности с соблюдением правил округления.

10.5. Алгоритм обработки результатов наблюдений

Обработку результатов наблюдений проводят в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения». Обработка результатов наблюдение производится аналогично, как показано в лабораторной работе 9.

По результатам измерений построить гистограмму (гистограмма строится аналогично как и в лабораторной работе 3).

Определить границы неисключенной систематической погрешности (определение границ неисключенной систематической погрешности производится аналогично, как показано в лабораторной работе 3).

Определение доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины.

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют, как показано в п. 3.4 лабораторной работы 3.

Записать результат измерения в виде с указанием $x = \bar{x} \pm \Delta$ единиц измерения.

Оформить отчет о проделанной лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Преимущества, назначение и структура систем автоматического регулирования.
2. В чем достоинства и недостатки принципа регулирования по отклонению?
3. Что представляют собой объект регулирования и регулятор в исследуемой САР?
4. Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР? По какому параметру осуществляется регулирование?
5. Поясните методику экспериментальных исследований САР.
6. Как зависит энергия, потребляемая САР, от расхода воды?

Лабораторная работа 11. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОСУШИТЕЛЬНО-УВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: определить технический уровень мелиоративной системы, основанный на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой системы, с соответствующими базовыми показателями.

Материалы для выполнения работы: описание мелиоративной системы Горецкого района приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

11.1. Теоретические сведения

11.1.1. Основные положения по обследованию

1. Положение о порядке обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – Положение) разработано в соответствии с Законом Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. «О мелиорации земель» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520) и определяет порядок ежегодного проведения обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

2. Объектами обследования являются мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения, состоящие на

государственном учете мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

3. Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится комиссиями, в состав которых включаются уполномоченные должностные лица управлений (отделов) сельского хозяйства и продовольствия районных исполнительных комитетов, государственного производственного объединения по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем «Белводхоз» (далее – ГО «Белводхоз»)), организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем и других заинтересованных.

4. Персональный состав комиссий по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – комиссии) утверждается районными исполнительными и распорядительными органами по представлению государственных органов и иных организаций.

5. Комиссии проводят обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений с определением их технического состояния, рассматривают материалы обследования, составляют и подписывают акты обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

6. Исходными материалами для обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются: акты прошлых лет по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений; акты приемки в эксплуатацию законченных строительством мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений; решения о выводе из эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений; паспорта мелиоративных систем, технические паспорта гидротехнических сооружений и иные документы, необходимые для проведения обследования.

7. Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится ежегодно по состоянию на 1 декабря.

8. Акты обследования составляются комиссиями и утверждаются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями.

9. Копии утвержденных актов обследования не позднее 5 декабря направляются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями в комитеты по

сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченные ими организации, а также в областные государственные производственные лесохозяйственные объединения.

10. Оформленные и подписанные сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений ежегодно не позднее 15 декабря представляются на утверждение:

- комитетами по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченными ими организациями – в ГО «Белводхоз»;

- областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями – в Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченную им организацию.

11.1.2. Этапы проведения обследований

В целях получения данных для разработки проектов ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений специально созданными комиссиями из числа уполномоченных должностных лиц заинтересованных государственных органов и иных организаций ежегодно проводится их обследование. Порядок обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, форма акта обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений определяются Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь по согласованию с Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь.

Изыскания проводят с целью сбора необходимых данных для проектирования гидромелиоративной системы. В начальном периоде проводят общие мелиоративные исследования гидромелиоративного фонда для составления технико-экономического обоснования необходимости гидромелиоративных работ. Схему осушения переувлажненных земель какого-либо района разрабатывают на основе проведенных инженерных изысканий, с учетом мелиоративной характеристики земель, почвенно-грунтовых, гидрологических, климатических, геоморфологических и экономических условий с учетом природоохранных свойств объектов района обследования.

Проводят выборочные натурные обследования с охватом 5–15 % площади намечаемых к мелиорации объектов. При выборочном обследовании желательно ознакомиться с объектами осушения прошлых лет (при их наличии) для выявления влияния осушения на рост леса.

Назначая объекты для гидромелиорации, следует отдавать предпочтение крупным гидрологическим участкам (как правило, площадью не менее 200–300 га), расположенные вблизи водоприемников, занятым хвойными древостоями с высокой отзывчивостью на осушение (I–II группы ответственности), а также расположенные в районах с высокой интенсивностью лесного хозяйства.

Предварительное (визуальное) обследование проводят в целях предварительной оценки технического состояния мелиоративных систем (при необходимости) по внешним признакам, определения необходимости в проведении детального (инструментального) обследования и уточнения программы работ.

При детальном обследовании уточняются результаты предварительного обследования, в том числе определяются: прочностные и декоративные характеристики, исследуются эксплуатационные характеристики, а также проводятся необходимые поверочные расчеты обследуемых мелиоративных систем.

Детальное обследование включает: визуальное обследование; обмерочные работы; инструментальные обследования.

При недостаточности данных проводится сплошное обследование (отсутствие проектной документации и т. д.).

При обследованиях мелиоративных и водохозяйственных сооружений проверяют визуально и, при необходимости, с помощью геодезических и других инструментов следующее:

- отметки, конструктивные размеры сооружений, продольные и поперечные профили каналов и дамб, уклоны;
- конструкции сооружений, состояние бетонных, железобетонных и металлических элементов;
- степень заиления и зарастания открытых каналов, водоприемников и закрытых дренажных систем, а также разрушений креплений откосов плотин, дамб (защитных валов) и каналов;
- работу затворов, подъемников, гидромеханического, электротехнического и грузоподъемного оборудования (проверяют состояние наиболее изнашиваемых деталей и механизмов без существенной их разборки);
- пропускную способность каналов и сооружений, надежность и быстроту регулирования расходов;

- наличие размывов в нижних бьефах и разрушение отдельных частей сооружений;
- наличие пустот за стенками сооружений;
- наличие опасной фильтрации через плотины и дамбы, под флютбетами и за стенками сооружений;
- наличие утечки воды и недопустимой фильтрации в закрытых и лотковых оросительных системах, в напорных трубопроводах насосных станций и водоводах;
- наличие дефектов в оборудовании гидротехнических и гидрогеологических створов;
- полноценность работы внутривоздушных линий связи и электроснабжения, автоматики и телемеханики;
- состояние полотна автомобильных дорог, а также наличие дорожных устройств и знаков, а также другие элементы и конструкции, входящие в состав мелиоративных систем.

Внеочередные осмотры мелиоративных систем и сооружений проводятся после стихийных бедствий (пожаров, ураганных ветров, катастрофических ливней, наводнений и т. д.) или аварий комиссиями с участием представителей органов.

Существенной целью осмотров является разработка предложений по повышению эксплуатационной надежности мелиоративных систем и водохозяйственных сооружений и их долговечности.

Особый режим осмотров должен устанавливаться для мелиоративных систем и водохозяйственных сооружений в районах многолетней мерзлоты, на просадочных грунтах, в сейсмических районах, на системах с неудовлетворительным мелиоративным состоянием (повышение уровня грунтовых вод и их минерализация и т. д.):

- ежегодное проведение с помощью геодезических инструментов проверки положения основных конструктивных элементов мелиоративных систем и сооружений;
- постоянные наблюдения за конструкциями, подверженными динамическим нагрузкам или работающими в агрессивной среде.

Текущие осмотры проводятся в плановом порядке инженерно-техническими работниками организаций, на балансе которых находятся мелиоративные системы. Результаты осмотра заносятся в технический журнал. Часть этих сведений служит исходными данными при составлении дефектных ведомостей на ремонтные работы.

Результаты всех видов осмотров, кроме текущих, оформляются актами технического состояния мелиоративных систем и водохозяй-

ственных сооружений, в которых отмечаются обнаруженные дефекты, а также необходимые меры по их устранению с указанием видов ремонтных работ (капитальный, текущий), объемов основных работ, их ориентировочной стоимости и рекомендуемых сроков выполнения.

Вся техническая (исполнительная) документация по сданным в эксплуатацию мелиоративным системам и сооружениям должна храниться в организациях, на балансе которых находятся мелиоративные системы и водохозяйственные сооружения, и в эксплуатационных водохозяйственных организациях.

Обо всех случаях неудовлетворительной работы гидротехнических сооружений, выявленных в результате проводимых осмотров, водохозяйственные организации должны информировать вышестоящие и проектные организации для принятия мер по совершенствованию конструкций сооружений.

11.1.3. Культуртехническая карта

Для определения видов и объемов работ по культуртехнической мелиорации проводят почвенно-мелиоративные, геоботанические и культуртехнические обследования объектов освоения, материалы которых используют для хозяйственной оценки земель и выбора оптимальных технологий для проведения культуртехнических работ.

Залесенность земель характеризуется плотностью древостоя по количеству стволов на 1 га, породному составу и среднему диаметру стволов на уровне около 1,5 м от поверхности.

Закустаренность земель оценивают по высоте, диаметру (у корневой шейки) и плотности покрытия проекциями крон, а также по количеству стволов на 1 га.

По технологическим свойствам древесно-кустарниковые породы подразделяют на одноствольные, у которых корневая система стержневая или слаборазветвленная (береза, осина, дуб, кедр, ель и др.), и гнездовые, имеющие разветвленные корни и нередко корневые кочки-колбы (ива, орешник, черемуха, крушина, шиповник, ольха серая и др.).

Пни характеризуют по размерам, давности рубки и породному составу.

Размеры пней определяют по диаметру (см): мелкие – 12–23, крупные – 23–40, очень крупные – более 40.

По давности рубки леса (возрасту) пни различают: свежей рубки – 1–2 года, средней давности рубки – 3–4 года, давней рубки – 5–8 лет.

По характеру корневой системы в зависимости от породы дерева и почвенных условий пни подразделяют на следующие группы: с глубоким стержневым корнем и глубокими боковыми корнями (дуб, сосна); с глубоким стержневым корнем и неглубокими боковыми корнями (береза и др.); с боковыми горизонтально разветвленными корнями – стелющейся корневой системой (ель, серая ольха, сосна на болотах и др.).

Засоренность почвы погребенной древесиной встречается на торфяниках. Ее оценивают методом зондирования торфа на глубину до 50 см.

Каменистость почвы определяют по наличию камней (покрытие почвы) и их объемам.

По размерам (среднему диаметру) камни подразделяют на глыбы – более 1 м; крупные – 0,6–1,0 м; средние – 0,3–0,6; небольшие – 0,1–0,3; мелкие – 0,05–0,1 м; гальку и щебень – 0,01–0,05 м.

Размер (объем) камня (V , м³) определяют по его среднему диаметру: $V = 0,7 d^3$, где коэффициент 0,7 учитывает форму камня. Средний диаметр d определяют путем измерения длины, ширины и высоты камня (сумму трех величин делят на три).

Наличие полускрытых и скрытых камней определяют на глубине до 30 см.

Закустаренность и каменистость почвы снижают урожайность сельскохозяйственных угодий.

Кочки по происхождению подразделяют на земляные (землистые) и растительные. К земляным относят скотобойные, муравейниковые, кротовинные, а также кочки-глыбы, образовавшиеся при вспашке; к растительным – осоковые, пушицевые, щучковые и моховые.

Закочкаренность площади определяют по количеству кочек, приходящихся на 1 га: редкие кочки – менее 5 тыс. шт., средние – 5–15 тыс. шт., густые – более 15 тыс. шт.

По высоте различают низкие (карликовые) кочки – менее 25 см, средние – 25–40, крупные – 40–55 и огромные (очень крупные) – 55–70 см и более.

Другие неровности рельефа (ямы, старые канавы, западины, мочажины, бугры и пр.) оценивают также по размерам и количеству на 1 га.

Дернина – это поверхностный слой почвы с многолетней травянистой растительностью, отличающийся значительной связанностью частиц почвы корнями растений и наличием органического вещества.

Дернина различается по виду растительности (бобово-злаковая, осоковая, торфяно-моховая и др.), происхождению (сеяная, дикорас-

тушая), по плотности и связи с почвой (рыхлая и связная). По толщине (мощности) ее разделяют на слабую – до 6 см, среднюю – 7–12 и мощную – 13–20 см и более.

Результаты обследований заносят в почвенно-мелиоративную характеристику земельного участка, на основании которых для наглядности с помощью условных обозначений составляется почвенно-мелиоративная карта.

11.2. Экспериментальная часть

Обследуемые мелиорированные земли принадлежат СПК «Племзавод Ленино» Горьковского района Могилевской области с центром в п. Ленино.

Современное состояние объекта. Мелиорируемый участок расположен в водосборе реки Днепрец, относящейся к малым рекам.

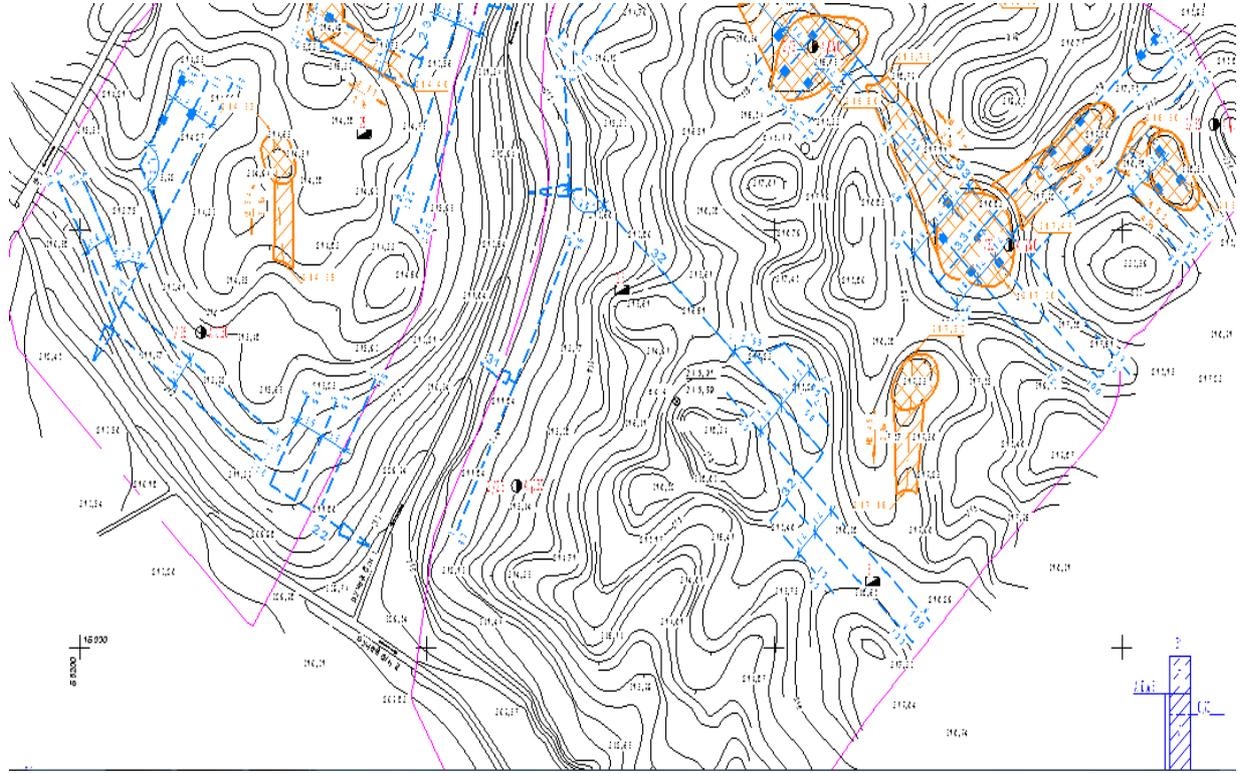
На участке встречаются земли, заросшие древесно-кустарниковой растительностью (ольха, береза, ива высотой до 15 м), а также отдельные вымочки с влаголюбивой растительностью. В южной части объекта есть заболоченная низина, заросшая влаголюбивой растительностью и ДКР, по которой протекает ручей, впадающий в овраг.

На участке встречаются земли, заросшие древесно-кустарниковой растительностью (ольха, береза, ива высотой до 15 м), а также отдельные вымочки с влаголюбивой растительностью. В южной части объекта есть заболоченная низина, заросшая влаголюбивой растительностью и ДКР, по которой протекает ручей, впадающий в овраг.

Поверхностный сток на объекте осуществляет овраг, ложбины и каналы К-1 и К-2, сброс из которых также осуществляется в овраг.

Территория участка покрыта древесно-кустарниковой растительностью на площади 24,7 га.

Чистые от древесно-кустарниковой растительности задернованные земли, используемые под пашню с превышением нормативного срока перезалужения и плотной дерниной на площади 107,5 га, вымочки на задернованных землях, используемые под пашню – 14,7 га, в том числе заросших редким кустарником – 2,0 га.



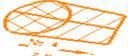
	Граница объекта
	Граница пусковых комплексов
	Трасса газопровода
	Кабель связи
	Открытая сеть существующая
	Открытая сеть проектная
	Открытая сеть засыпаемая
	Переезд трубчатый существующий
	Переезд трубчатый проектный
	Колонка поглотитель
	Проектный дренаж
	Номер и длина дрены
	Колодец-поглотитель поверхностного стока
	Сбросной колодец
	Потайной колодец
	Открытая воронка
	Срезка и засыпка понижений
	Пусковой комплекс 1

Рис. 11.1. Фрагмент мелиоративной системы КСУП «Племзавод Ленино» д. Андеколово

Мелиорируемый участок по физико-географическому районированию приурочен к Оршанско-Могилевскому плато, которое в пределах Беларуси называется Горецко-Мстиславской равниной. В связи с этим на объекте встречается чередование пологих возвышенностей с равнинами, разделяемые тальвегами.

В геоморфологическом отношении участок представляет собой возвышенное полого-волнистое плато, характеризующееся развитием мощной толщи лессовидных супесей и суглинков пылеватых, наличие которых создает своеобразие в рельефе: узкие глубоковрезанные долины ручьев, ложбины стока, большое количество западин округлой и вытянутой формы.

В геологическом отношении участок на вскрытую глубину 8,0 м сложен лессовидными супесями и суглинками пылеватыми проблематического происхождения; по оврагам и ложбинам стока – озерно-болотными, озерно-делювиальными отложениями: супеси и суглинки с примесью органических веществ, часто пылеватыми.

На основании геоморфологии территории, геологического строения, гидрогеологических условий и увязке с материалами почвенных изысканий в пределах площади осушения по типам водного питания выделены следующие районы:

А – атмосферный тип водного питания.

К этому району относятся возвышенности округлой или овальной формы, с поверхности залегают супеси, реже суглинки пылеватые. Грунтовые воды не вскрыты. Мелиоративные мероприятия не предусматриваются.

Ас – атмосферно-поверхностно-склоновый тип водного питания.

К этому району относятся ложбины стока, к которым приурочены безымянные водотоки. В литологическом отношении район сложен глинистыми грунтами, на отдельных участках с поверхности залегает заторфованный грунт. Уровень грунтовых вод находится на глубине 0,25–0,40 м, иногда стоит на поверхности. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков и вод поверхностного стока.

Сведения о физико-механических свойствах грунтов, почвенно-мелиоративной, агроэкономической характеристике, а также характеристике растительного покрова приводятся в соответствующих материалах изысканий.

Мест обитания редких и исчезающих видов растений и животных, занесенных в Красную книгу, на мелиорируемом массиве нет. По данным опроса местных жителей через объект пути миграции диких животных не проходят.

На территории объекта памятники природы, истории, культуры отсутствуют. Загрязненность территории радионуклидами отсутствует.

3 основные причины избыточного переувлажнения. В результате обследования объекта и изучения материалов инженерных изысканий установлено, что основными причинами избыточного увлажнения являются: высокое стояние уровня грунтовых вод; мелкоконтурность; наличие большого количества замкнутых понижений, в которых застаиваются поверхностные воды и происходит их заболачивание и зарастание ДКР и влаголюбивой растительностью.

11.3. Порядок проведения работы

1. Изучить теоретические сведения. Ознакомиться с результатами инженерных изысканий.

2. Используя теоретические сведения, технико-экономические показатели заполнить акт обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Акт обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений

_____ района _____ области
«__» _____ 20__ г.
(населенный пункт)

Комиссия в составе:

(фамилия, инициалы) председатель комиссии (наименование должности)

Члены комиссии:

(фамилия, инициалы) (наименование должности)

(фамилия, инициалы) (наименование должности)

обследовала мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения и определила их техническое состояние:

Таблица 11.1. Техничко-экономические показатели реконструкции мелиоративной системы

№ п/п	Наименование землепользователей, мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений	Площадь осушенных сельскохозяйственных земель, земель лесного фонда, га	Мелиоративные системы подлежат реконструкции, га	Мелиоративные системы находящаяся на техническом обслуживании, га	Основные данные о техническом состоянии мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях по результатам обследования											
					Каналы, км		водорегулирующие сооружения, ед.	переездные сооружения, ед.	насосные станции, ед.	дамбы, км		Дороги, км				
					в том числе	сверхдопустимое заиливание, более 30 см				закустарено	наличие всего	из них исправленных	Наличие всего	из них исправленных	протяженность всего	из них исправленных
Продолжение таблицы																
Председатель комиссии _____																
Члены комиссии _____																

Контрольные вопросы

1. Кто включается в состав комиссиями по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений?
2. Что проверяют визуально и, при необходимости, с помощью геодезических и других инструментов при обследованиях мелиоративных и водохозяйственных сооружений?
3. Для чего составляют почвенно-мелиоративную характеристику земельного участка?
4. Что включает детальное обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений?

Лабораторная работа 12. ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДОПОДПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ПРУДАХ БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

Продолжительность работы – 2 ч

Цель работы: определить техническое состояние водоподпорного сооружения, сопоставить значения показателей с соответствующими базовыми показателями.

Материалы для выполнения работы: описание водоподпорного сооружения приводится дополнительно в зависимости от конкретного задания на выполняемый эксперимент.

12.1. Теоретические сведения

12.1.1. Контроль за состоянием сооружений и оснований в период строительства и эксплуатации

На искусственных водных объектах (пруды, пруды-накопители, мелиоративные и польдерные системы, водохранилища и т. д.) в процессе эксплуатации происходит развитие различных негативных процессов: абразия и эрозия, подтопление и заболачивание территорий, а также разрушение инженерных сооружений, что приводит в итоге к авариям, а в редких случаях и чрезвычайным ситуациям. В результате чего наносится огромный ущерб народному хозяйству, объектам экономики, а также окружающей природной среде. Основная цель всех работ, проводящихся на стадиях проектирования, строительства и экс-

плуатации напорных гидротехнические сооружения (ГТС) на искусственных водных объектах, заключается в том, чтобы исключить возможность нарушения условий их эксплуатации. Тем не менее риск аварий неизбежен и подлежит оценке, анализу и регулированию.

1. В проектной документации плотин I–III классов необходимо предусматривать установку КИА для проведения натурных наблюдений за работой и состоянием сооружений и их оснований, используя результаты этих наблюдений для оценки надежности объекта, своевременного выявления дефектов, назначения ремонтных мероприятий, предотвращения аварий и улучшения условий эксплуатации. Натурные наблюдения могут быть контрольными и специальными.

2. Контрольные натурные наблюдения следует проводить в целях изучения основных параметров работы плотины и основания, комплексного анализа их состояния и оценки эксплуатационной надежности. Состав и объем контрольных наблюдений следует устанавливать в архитектурном проекте в зависимости от класса плотины, ее конструктивных особенностей, геологических, гидрогеологических, климатических условий, а также условий возведения и требований эксплуатации.

При наблюдениях, как правило, следует определять:

- отметки уровней воды верхнего и нижнего бьефов;
- положение депрессионной поверхности в теле плотины и берегах;
- качество работы дренажа и противофильтрационных устройств;
- расходы воды, фильтрующейся через плотину и ее основание, а также в берегах и местах примыкания плотины к бетонным сооружениям;
- мутность профильтровавшейся воды, а при необходимости, и ее химический состав;
- поровое давление в глинистых элементах тела плотины и основания;
- осадку тела плотины, основания и береговых примыканий;
- горизонтальные смещения гребня, берм и противофильтрационных устройств;
- напряжения и деформации в теле плотины, противофильтрационных устройствах, а также в основании;
- ледовые воздействия.

В состав контрольных наблюдений следует включать систематические визуальные наблюдения за состоянием креплений и местными деформациями откосов и гребня плотины, водосбросных кюветов, появлением выходов профильтровавшейся воды, размывами откосов и берегов, появлением наледи, заилинием и зарастанием дренажных траншей.

3. Для плотин IV класса и их оснований следует предусматривать комплексные визуальные наблюдения. Инструментальные наблюдения, как правило, следует ограничивать наблюдениями за смещениями, осадкой, положением депрессионной поверхности и фильтрационными расходами.

Отсутствие инструментальных наблюдений необходимо обосновывать.

4. Специальные натурные наблюдения проводят, при соответствующем обосновании, в целях получения данных для уточнения методов и результатов расчета и модельных исследований, обоснования конструктивных решений, методов производства работ и улучшения условий эксплуатации плотин.

5. В состав натурных наблюдений следует включать:

- программу наблюдений с изложением цели, задач, состава, объема, методики, с указанием сроков, номенклатуры и технических характеристик КИА;

- общие схемы и рабочие чертежи размещения и монтажа КИА в плотине, основании, береговых примыканиях и отдельных элементах, прокладки и коммутации кабельных линий и устройства измерительных пультов;

- рабочие чертежи закладных деталей и монтажных приспособлений для установки КИА;

- спецификации устанавливаемой КИА, вторичных приборов, вспомогательного оборудования, кабелей;

- инструкцию по установке КИА, прокладке кабельных линий и оборудованию пультов;

- смету на приборы, вспомогательное оборудование, кабельную продукцию, проведение наблюдений, обработку и анализ результатов.

Номенклатуру, количество приборов и их местоположение в теле плотины, основании, береговых примыканиях и отдельных элементах сооружения устанавливают исходя из состава задач и объема наблюдений и исследований. При этом следует стремиться к автоматизации всех наблюдений.

6. Требования проектной документации по периодичности проведения, обработке и систематизации натурных наблюдений за работой и состоянием сооружения и его основания.

7. При расчетах плотин всех классов следует устанавливать предельно допустимые значения параметров состояния плотин и их оснований, контролируемые натурными наблюдениями.

8. Предельно допустимые значения параметров состояния плотины принимаются равными расчетным значениям для основного и особого сочетаний нагрузок и могут уточняться.

12.1.2. Этапы проведения обследований

Основные задачи обследований ГТС прудов-накопителей следующие:

- уточнить техническое состояние ГТС, а также выявить причины их возможного повреждения или разрушения;
- произвести замер и регистрацию морфометрических параметров, а также учесть полученные значения при разработке базы данных тестовых прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем для прогнозирования возможных аварий на них с учетом их современного состояния.

Наблюдения за ГТС необходимо проводить по оценке:

- состояния откосов дамб и плотин (просадки, подвижки, оползни, трещины, размывы);
- состояния креплений откосов и гребня дамб и плотин (разрушение креплений, просадка, оползание, раскрытие швов и деформации плит креплений);
- места их примыкания к водосбросным сооружениям;
- места примыкания ГТС к коренным берегам;
- появления выходов воды в примыкании грунтовой плотины к бетонным сооружениям;
- появления выходов воды из основания в нижнем бьефе плотины;
- состояния водосборных кюветов на низовом откосе, бермах и прилегающей территории (повреждение облицовок, заилиение, зарастание, перемерзание);
- состояние водовыпусков из закрытых дренажных устройств (целостность, проточность, перемерзание);
- появление на низовом откосе плотины и в береговых ее примыканиях выходов фильтрационных вод или мокрых пятен.

Состав и объем наблюдений устанавливается в зависимости от класса ограждающей дамбы, ее конструктивных особенностей, геологических, климатических, сейсмических условий, а также условий возведения и требований эксплуатации. Обследование напорных берегоукрепительных сооружений проводится как вдоль сооружения, так и перпендикулярно ему. Особое внимание уделялось угловым участкам, сопряжениям с берегоукреплениями других конструкций и другими сооружениями, и тем местам, где раньше производились строительные или ремонтные работы.

При осмотре гибких покрытий подводных откосов, выполненных в виде шарнирно скрепленных железобетонных плиток или решеток, заполненных камнем или незаполненных, но с подстилкой нетканым материалом, определяли состояние швов между элементами: полиэтиленового покрытия стержней, соединяющих элементы; убеждались в наличии камня в решетках и целостности подстилающего нетканого материала, а также выявляли дефекты бетона. Тщательному осмотру подлежат узлы опирания откоса и концевых участков гибких покрытий. Определяли основные виды дефектов, влияющих на устойчивость элементов напорных ГТС (табл. 12.1).

Методы контроля технического состояния сооружений, используемые при их обследовании, объединяют в следующие основные группы:

- осмотр сооружения с целью проверки наличия его элементов, их соединений и выявления явных внешних признаков их ненормального функционирования;
- осмотр сооружения для выявления скрытых дефектов;
- получение изображений элементов сооружения.

На рис. 12.1 представлены результаты визуального обследования ГТС пруда-накопителя (общий вид эксплуатируемого искусственного водного объекта и техническое состояние сооружений на нем). Фиксировались также месторасположение, ведомственная принадлежность, объем (тыс. м³), площадь зеркала (га), тип (марка) водосброса, год ввода в эксплуатацию пруда-накопителя.

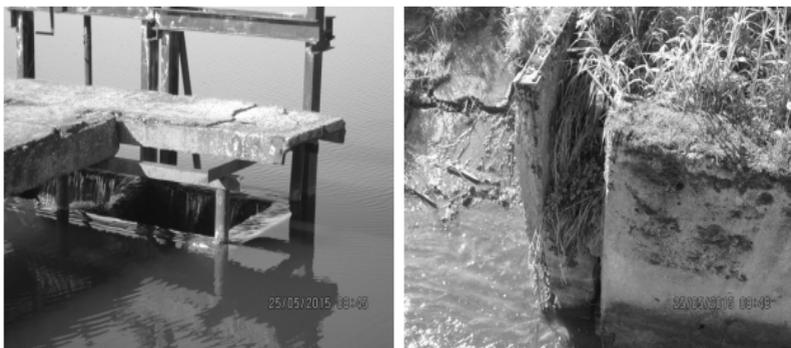


Рис 12.1. Пример технического состояния сооружений на водохранилище

Таблица 12.1. Характерные дефекты железобетонных конструкций элементов напорных ГТС

Вид дефекта	Возможные причины	Возможные последствия
1	2	3
Волосяные трещины с заплывшими берегами, не имеющие четкой ориентации, появляющиеся при изготовлении, в основном на верхней (при изготовлении) поверхности	Усадка в результате принятого режима тепловлажностной обработки, состава бетонной смеси, свойства элемента и т. п.	На несущую способность не влияют. Могут снизить долговечность
Волосяные трещины вдоль арматуры, иногда след ржавчины на поверхности бетона	Коррозия арматуры (слой коррозии до 0,5 мм) при потере бетоном защитных свойств (например, при карбонизации). Раскалывание бетона при нарушении	Снижение несущей способности до 5 %. Степень снижения зависит от многих факторов. Поэтому должна оцениваться с учетом наличия других дефектов и результатов поверочного расчета
Сколы бетона	Механические воздействия	При расположении в сжатой зоне – снижение несущей способности за счет уменьшения площади сечения. При расположении в растянутой зоне – на несущую способность не влияют
Трещины вдоль арматурных стержней до 3 мм. Явные следы коррозии арматуры	Развиваются в результате коррозии арматуры из волосяных трещин. Толщина продуктов коррозии до 3 мм	Снижение несущей способности в зависимости от толщины слоя коррозии и размеров выключенного из работы бетона сжатой зоны. Уменьшение несущей способности нормальных сечений в результате нарушения сцепления арматуры с бетоном до 20 %. При расположении на опорных участках – состояние конструкций предельное
Отслоение защитного слоя бетона	Коррозия арматуры (дальнейшее развитие дефектов)	То же. При этом снижение прочности нормальных сечений до 30 % в результате нарушения сцепления арматуры с бетоном. При расположении дефекта на опорном участке – состояние предельное
Наклонные трещины со смещением участков балки друг относительно друга и наклонные трещины, пересекающие арматуру	Перегрузка конструкции. Нарушение анкеровки арматуры	Состояние предельное

1	2	3
Повреждения арматуры и закладных деталей (надрезы, вырывы и т. п.)	Механические воздействия, коррозия арматуры	Снижение несущей способности пропорционально уменьшению площади сечения
Выпучивание сжатой арматуры, продольные трещины в сжатой зоне, шелушение бетона сжатой зоны	Перегрузка конструкций	Состояние предельное
Разрывы или смещения поперечной арматуры в зоне наклонных трещин	Перегрузка конструкций	Состояние предельное
Отрыв анкеров от пластин закладных деталей, деформации соединительных элементов, расстройство стыков	Наличие воздействий, не предусмотренных при проектировании	Состояние предельное

12.2. Экспериментальная часть

12.2.1. Описание объекта водоподпорного сооружения на нижнем пруду Белорусской государственной сельскохозяйственной академии

Гидроузел нижнего пруда состоит из плотины, выполненной из местного грунта – суглинка. В тело плотины вмонтированы 2 ряда железобетонных труб, рассчитанных на максимальный сброс воды. Гребень плотины покрыт асфальтобетонным покрытием шириной 6 метров.

Со стороны верхнего бьефа (ВБ) имеется полигональный ступенчатый водослив. По граням водослива имеются ливневки для сброса минимального расхода. Откосы со стороны ВБ укреплены железобетонными плитами. Имеется смотровой мостик.

Вода из ВБ поступает по круглым трубам в железобетонный лоток в нижний бьеф (НБ), который имеет водосливную плиту под определенным уклоном. По обе стороны лотка имеются желоба, для отвода воды с гребня плотины откосы укреплены посевом трав. Из лотка вода поступает в канал, на котором имеется каменная наброска для гашения кинетической энергии потока. Далее вода по каналу впадает в реку Копылку. Имеется смотровой мостик.

Откосы со стороны нижнего бьефа укреплены посевом трав.

Предусмотрен трубчатый донный водовыпуск с задвижкой.

В Горках пруды были сформированы на основе постоянного водного источника питания речки Копылки (рис. 12.2).

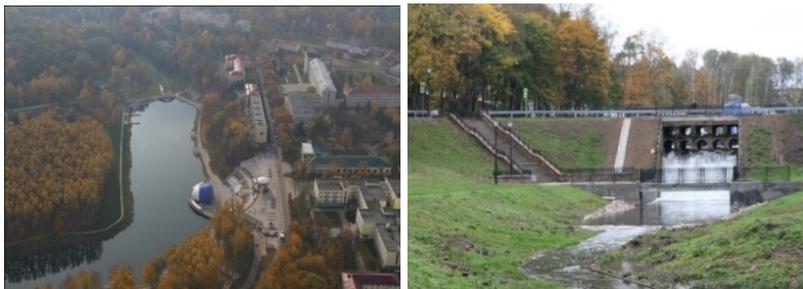


Рис. 12.2. Водосливная плотина, нижний бьеф

12.3. Порядок проведения работы

1. Изучить теоретические сведения. Ознакомиться с проектной документацией на реконструкцию (строительство) водоподпорного сооружения. Определить класс сооружения.

2. Провести обследование водосливного сооружения. Выявить имеющиеся дефекты и причины их возникновения.

3. Провести обследование водоспускного сооружения. Выявить имеющиеся дефекты и причины их возникновения.

4. Провести обследование сопрягающего сооружения. Выявить имеющиеся дефекты и причины их возникновения.

5. Составить отчет с указанием основных технических показателей водоподпорного сооружения.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей проводятся контрольные натурные наблюдения?
2. Какие виды обследований входят в состав и объем контрольных наблюдений?
3. Назовите методы контроля технического состояния сооружений, используемые при их обследовании?
4. Какая периодичность проведения натурных обследований?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуброва, Ю. Н. Метрология, контроль качества, обследование мелиоративных и водохозяйственных систем: учеб.-метод. пособие / Ю. Н. Дуброва, А. С. Кукреш, А. С. Анженков. – Горки: БГСХА, 2022. – 258 с.
2. Совершенствование мелиоративных и водохозяйственных систем: учеб.-метод. пособие / Ю. Н. Дуброва [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – 359 с.
3. Автоматизация инженерных систем: учеб.-метод. пособие / Ю. Н. Дуброва [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – 414 с.
4. Эрастов, В. Е. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / В. Е. Эрастов. – М.: Форум, 2008. – 204 с.
5. Лысов, К. И. Эксплуатация мелиоративных насосных станций / К. И. Лысов, И. А. Чаюк, Г. Е. Мускевич. – М.: Агропромиздат, 1988. – 255 с.
6. Хруцкая, Н. П. Основные дефекты труб-переездов, расположенных на дорогах 4-й и 5-й категорий на территории Горецкого и Мстиславского районов Могилевской области / Н. П. Хруцкая, Д. С. Дубяго // Молодежь и инновации-2017. В 2 ч. Ч. 2. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 329–330.
7. Административные и бытовые здания. СНИП 2.09.04-87. Измен. № 1: издание официальное. – Минск, 1996. – 4 с.
8. Волков, А. В. Совершенствование технологии реконструкции каналов инженерно-мелиоративных систем: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Волков. – Саратов, 2005.
9. Лазарчук, Н. А. Проектирование осушительных систем: практикум / Н. А. Лазарчук, А. Н. Рокочинский, А. В. Черенков. – Киев: Выща шк., 1989. – 208 с.
10. Иванов, Е. С. Организация и технология ремонтных работ на мелиоративных системах: учеб. пособие / Е. С. Иванов, Г. П. Ачкасов. – М.: Колос, 1997. – 256 с.
11. Маслов, Б. С. Осушительно-увлажнительные системы / Б. С. Маслов. – М.: Колос, 1981. – 280 с.
12. Механизация работ по ремонту и содержанию осушительных систем / Л. А. Камышенцев [и др.]. – Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1982. – 192 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Значения коэффициентов Стьюдента

Для доверительных вероятностей $p = 0,99$; $p = 0,95$; $p = 0,68$ для n измерений

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∞
$p = 0,99$	63,7	9,92	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	2,58
$p = 0,95$	12,7	4,30	3,18	2,77	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	1,96
$p = 0,68$	1,82	1,31	1,19	1,13	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	0,99

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	4
Лабораторная работа 1. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. СИСТЕМА СИ... 6	6
1.1. Теоретическая часть.....	6
1.1.1. Основные термины и понятия	6
1.2. Экспериментальная часть.....	12
1.2.1. Порядок выполнения работы.....	12
Лабораторная работа 2. ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ ВОДЫ.....	12
2.1. Теоретические сведения	12
2.2. Экспериментальная установка.....	15
2.3. Экспериментальная часть.....	19
2.3.1. Подготовка установки к работе.....	19
2.3.2. Порядок выполнения работы.....	20
2.4. Обработка результатов	21
Лабораторная работа 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТРИДЦАТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ	22
3.1. Теоретические сведения	23
3.2. Основные понятия и определения	23
3.3. Исключение грубых погрешностей	26
3.4. Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины.....	27
3.5. Алгоритм обработки результатов наблюдений	27
3.6. Экспериментальная часть	30
3.6.1. Порядок выполнения работы.....	30
Лабораторная работа 4. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАНОМЕТРА	31
4.1. Теоретические сведения	31
4.2. Экспериментальная часть.....	38
4.3. Порядок проведения работы	38
4.3.1. Подготовка установки к работе.....	38
4.3.2. Методика испытаний.....	39
4.4. Обработка результатов	39
Лабораторная работа 5. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ТРИДЦАТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ	40
5.1. Теоретические сведения	40
5.2. Определение воспроизводимости с использованием значений размахов результатов многократных измерений R'	43
5.3. Определение показателей воспроизводимости методом статистического анализа	44
5.4. Экспериментальная часть.....	45
5.5. Порядок выполнения работы	46
5.6. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	47
Лабораторная работа 6. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПРЕССОРА (ГИДРОАККУМУЛЯТОРА).....	47
6.1. Теоретические сведения	48
6.2. Экспериментальная установка.....	48
6.3. Экспериментальная часть.....	49

6.3.1. Подготовка установки к работе.....	49
6.3.2. Порядок выполнения работы.....	50
6.4. Обработка результатов.....	52
Лабораторная работа 7. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРИДЦАТИ ИЗМЕРЕНИЙ.....	53
7.1. Теоретические сведения.....	54
7.2. Экспериментальная часть.....	54
7.3. Порядок выполнения работы.....	55
7.3.1. Подготовка установки к работе.....	55
7.3.2. Методика испытаний.....	55
7.4. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	57
Лабораторная работа 8. ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПОМОЩЬЮ ВЛАГОМЕРА МГ-44 Э.....	58
8.1. Теоретические сведения.....	58
8.2. Определение влажности грунтов методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 5180-84.....	58
8.2.1. Определение влажности грунтов методами и приборами для экспресс-оценки.....	60
8.3. Экспериментальная часть.....	63
8.3.1. Назначение прибора.....	63
8.3.2. Технические данные.....	64
8.4. Устройство и работа прибора.....	64
8.5. Порядок выполнения работы.....	65
8.6. Обработка результатов.....	66
Лабораторная работа 9. ОЦЕНКА ГИСТЕРЕЗИСА ДАТЧИКА И ПОГРЕШНОСТИ ТРИДЦАТИ ИЗМЕРЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ.....	66
9.1. Теоретические сведения.....	67
9.1.1. Алгоритм обработки результатов наблюдений.....	67
9.2. Устройство и работа прибора.....	68
9.3. Экспериментальная часть.....	68
9.3.1. Порядок выполнения работы.....	68
Лабораторная работа 10. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В НАПОРНОМ БАКЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРИДЦАТИ ЦИКЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	70
10.1. Теоретические сведения.....	70
10.2. Экспериментальная часть.....	72
10.3. Проведение испытаний.....	72
10.3.1. Подготовка установки к работе.....	72
10.3.2. Методика проведения испытаний.....	73
10.4. Обработка результатов.....	74
10.5. Алгоритм обработки результатов наблюдений.....	76
Лабораторная работа 11. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОСУШИТЕЛЬНО- УВЛАЖНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	77
11.1. Теоретические сведения.....	77
11.1.1. Основные положения по обследованию.....	77
11.1.2. Этапы проведения обследований.....	79
11.1.3. Культуртехническая карта.....	82
11.2. Экспериментальная часть.....	84
11.3. Порядок проведения работы.....	88

Лабораторная работа 12. ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДОПОДПОРНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ПРУДАХ БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ	90
12.1. Теоретические сведения	90
12.1.1. Контроль за состоянием сооружений и оснований в период строительства и эксплуатации.....	90
12.1.2. Этапы проведения обследований	93
12.2. Экспериментальная часть.....	96
12.2.1. Описание объекта водоподпорного сооружения на нижнем пруду Белорусской государственной сельскохозяйственной академии	96
12.3. Порядок проведения работы	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ	99

У ч е б н о е и з д а н и е

Дуброва Юрий Николаевич
Кукреш Александр Сергеевич
Боровиков Алексей Александрович и др.

МЕТРОЛОГИЯ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
И ОБСЛЕДОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ
И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Компьютерный набор и верстка *С. Б. Даньковой*

Подписано в печать 22.05.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 6,04. Уч.-изд. л. 4,84.
Тираж 20 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.