

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов специальности 1-43 01 07
«Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»

Витебск
2023

УДК 62-50 (075.8)

Составители:

С. А. Клименкова, А. С. Соколова, А. М. Самусев

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 8 от 28.04.2023.

Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования: методические указания по выполнению расчетно-графических работ / сост. С. А. Клименкова, А. С. Соколова, А. М. Самусев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – 20 с.

В методических указаниях изложены теоретические сведения и индивидуальные задания для выполнения двух расчетно-графических работ по дисциплине «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования». Издание предназначено для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций».

Издание в электронном виде расположено в репозитории библиотеки УО «ВГТУ».

УДК 62-50 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Краткие теоретические сведения	4
Индивидуальные задания	7
Пример выполнения заданий	11
Литература	19

Витебский государственный технологический университет

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Функциональные схемы контроля и управления являются основными техническими документами, определяющими функциональную структуру и объем автоматизации технологических установок промышленного объекта. На функциональной схеме условными обозначениями изображаются: технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами средств автоматизации.

Функциональная схема разрабатывается в соответствии с ГОСТом 21.208-2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».

Основные символьные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов должны соответствовать обозначениям, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Основные символьные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
A	Анализ, величина, характеризующая качество: состав, концентрация, детектор дыма и т. п.		Сигнализация		
B	Пламя, горение	–	–		–
C	+			Автоматическое регулирование, управление	
D		Разность, перепад			Величина отклонения от заданной измеряемой величины
E	Напряжение	–		Чувствительный элемент	–
F	Расход	Соотношение, доля, дробь		–	–
G	+		Первичный показывающий прибор		

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
H	Ручное воздействие				Верхний предел измеряемой величины
I	Ток		Вторичный показывающий прибор		
J	Мощность	Автоматическое переключение, обегание			
K	Время, временная программа	–		Станция управления	
L	Уровень				Нижний предел измеряемой величины
M	+				Величина или среднее положение
N	+				
O	+	–	–	–	–
P	Давление, вакуум				
Q	Количество	Интегрирование, суммирование по времени		+	
R	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
S	Скорость, частота	Самосрабатывающее устройство безопасности		Включение, отключение, переключение, блокировка	
T	Температура	–	–	Преобразование	–
U	Несколько различных измеряемых величин				
V	Вибрация	–	+	–	–
W	Вес, сила, масса	–	–	–	–
X	Нерекомендуемая резервная буква		Вспомогательные компьютерные устройства		
Y	Событие, состояние			Вспомогательное вычислительное устройство	
Z	Размер, положение, перемещение	Система инструментальной безопасности, ПАЗ		+	

Примечание. Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», назначаются по выбору пользователя, а отмеченные знаком «–» не используются.

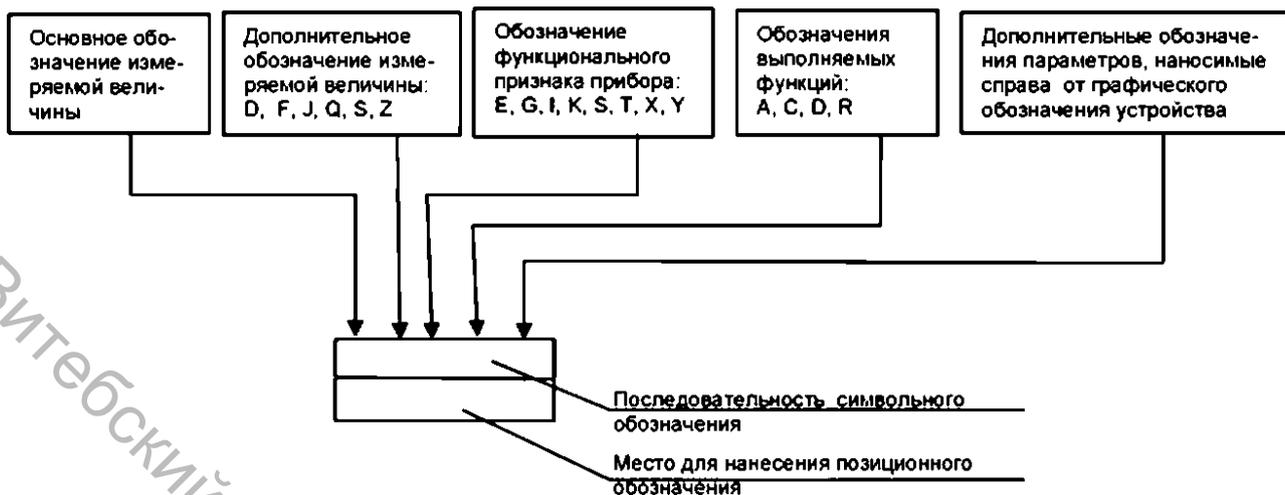


Рисунок 1 – Принцип построения условного обозначения прибора

Выбор измерительных средств КИПиА технологических параметров осуществляется согласно стандартам и отраслевым требованиям предприятия, с учетом ряда факторов метрологического и режимного характера, наиболее существенные из которых следующие:

1. Расстояние, на которое может быть передана информация, снимаемая с датчиков (интерфейс связи датчика).
2. Предельное значение измеряемой величины и других параметров среды.
3. Допустимая для АСУ ТП погрешность, определяющая подбор по классу точности датчика. Пределы измерения с гарантированно точностью.
4. Инерционность датчика, характеризуемая его постоянной времени.
5. Влияние внешних факторов окружающей среды (температуры, давления, влажности) на нормальную работу датчиков.

Разрушающее влияние на датчик контролируемой и окружающей среды, агрессивных свойств. Наличие в месте установки датчиков недопустимых для его нормального функционирования вибраций, магнитных и электрических полей, радиационного излучения и др.

6. Возможность применения датчика с точки зрения пожара и взрывобезопасности.

У устройств получения информации о состоянии технологического процесса выделяют первичный измерительный преобразователь (ПИП) и вторичный измерительный преобразователь (ВИП), которые связываются между собой посредством проводов и интерфейсов. ВИП могут быть расположены, как на контроллере, так и на щите управления или непосредственно в самом датчике.

В арсенале современных средств автоматизации все больше появляется ПИП с радиоканальным выходом. На рисунке 2 представлены виды сигнально-измерительных устройств.

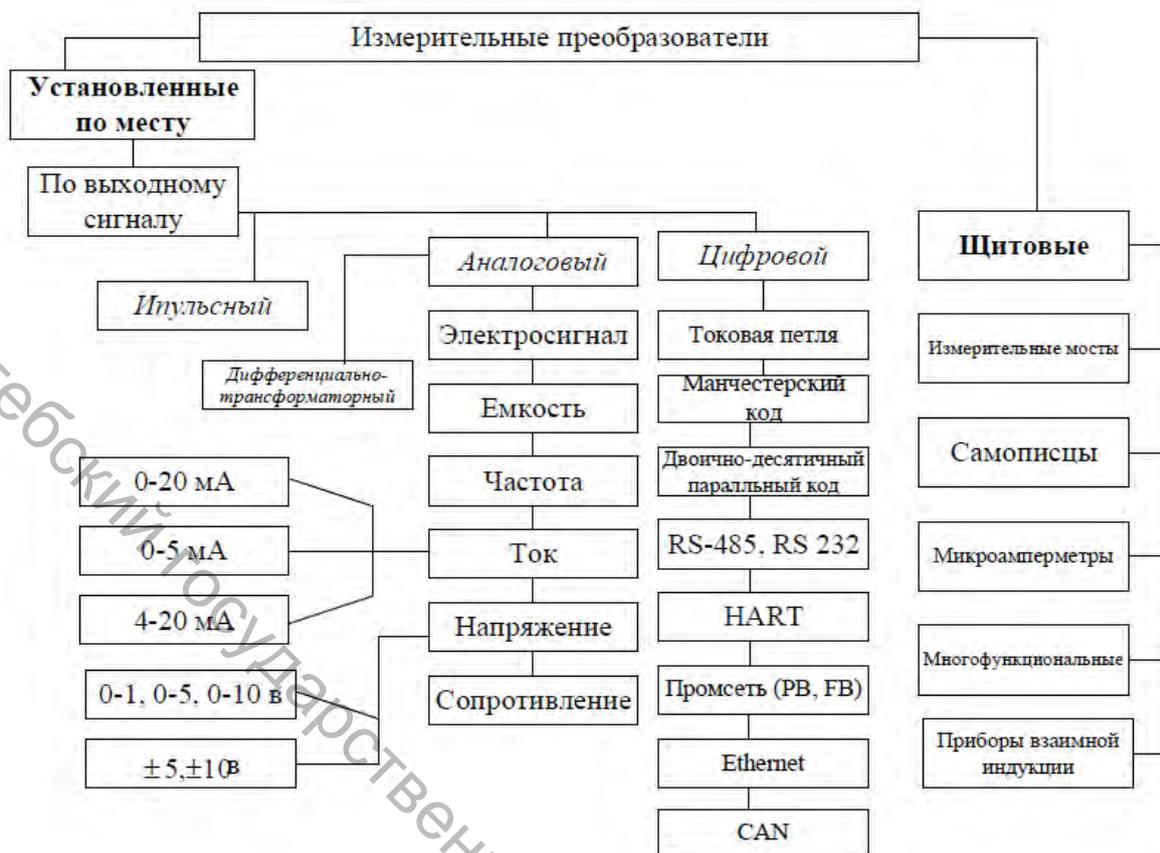


Рисунок 2 – Виды сигнально-измерительных устройств

Электрические схемы подключения технических средств выполняются согласно ГОСТу 2.702-2011 «Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем» и ГОСТу 2.710-81 «Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Расчетно-графическая работа 1:

Разработать функциональную схему автоматизированной системы управления согласно варианту (табл. 2)

Расчетно-графическая работа 2:

1. Автоматизированной системы управления, функциональная схема которой разработана в расчетно-графической работе 1, выбрать контрольно-измерительные приборы.

2. Разработать электрическую схему подключения для проектируемой системы.

Таблица 2 – Варианты заданий

Номер варианта	Номер рисунка	Измеряемые параметры	Тип горючего для бойлера или источника энергии	Место измерения параметра
1	2	3	4	5
1	3	Температура	Газ	На входе системы
2	4	Температура, давление	Мазут	На выходе системы
3	5	Температура, расход тепловой энергии	Электричество	На входе и выходе системы
4	6	Температура, расход тепловой энергии	Газ	На входе системы
5	7	Температура, давление	Мазут	На входе и выходе системы
6	3	Температура, давление	Электричество	На входе системы
7	4	Температура	Газ	На выходе системы
8	5	Температура, давление	Мазут	На входе и выходе системы
9	6	Температура, расход тепловой энергии	Электричество	На выходе системы
10	7	Температура	Газ	На выходе системы
11	3	Температура	Мазут	На выходе системы
12	4	Температура, давление	Электричество	На входе системы
13	5	Давления	Газ	На входе системы
14	6	Температура, расход тепловой энергии	Мазут	На входе и выходе системы
15	7	Температура, давление	Электричество	На выходе системы
16	3	Температура	Газ	На входе и выходе системы
17	4	Температура, расход тепловой энергии	Мазут	На входе и выходе системы
18	5	Температура	Электричество	На выходе системы
19	6	Температура, давление	Газ	На выходе системы
20	7	Температура	Мазут	На входе и выходе системы

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
21	3	Температура	Мазут	На выходе системы
22	4	Температура, давление	Электричество	На входе системы
23	5	Давления	Газ	На входе системы
24	6	Температура, расход тепловой энергии	Мазут	На входе и выходе системы
25	7	Температура, давление	Электричество	На выходе системы

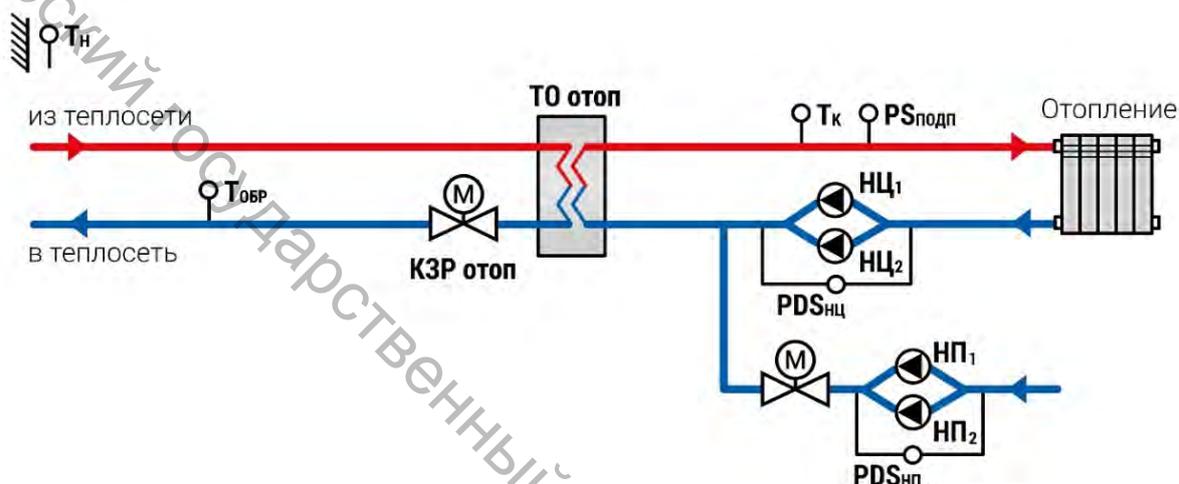


Рисунок 3 – Технологическая схема контура автоматического управления ГВС в ИТП

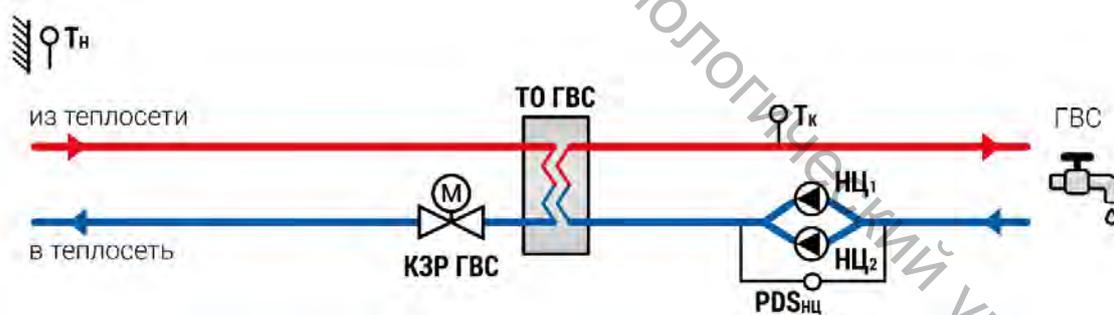


Рисунок 4 – Технологическая схема контура автоматического управления ГВС в ИТП

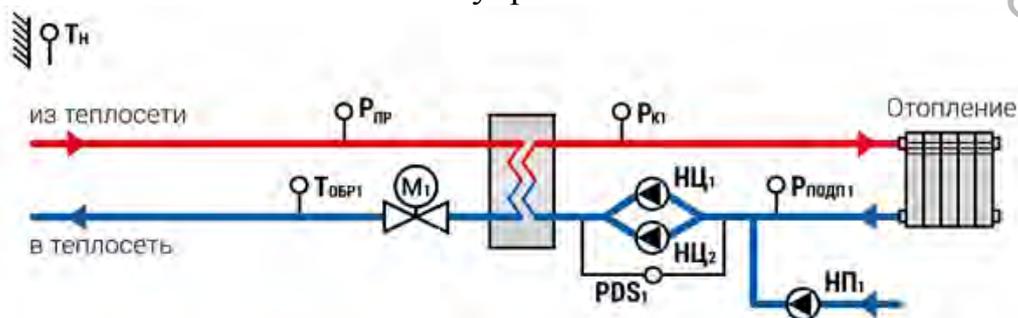


Рисунок 5 – Технологическая схема контура автоматического управления отоплением в ИТП и ЦТП

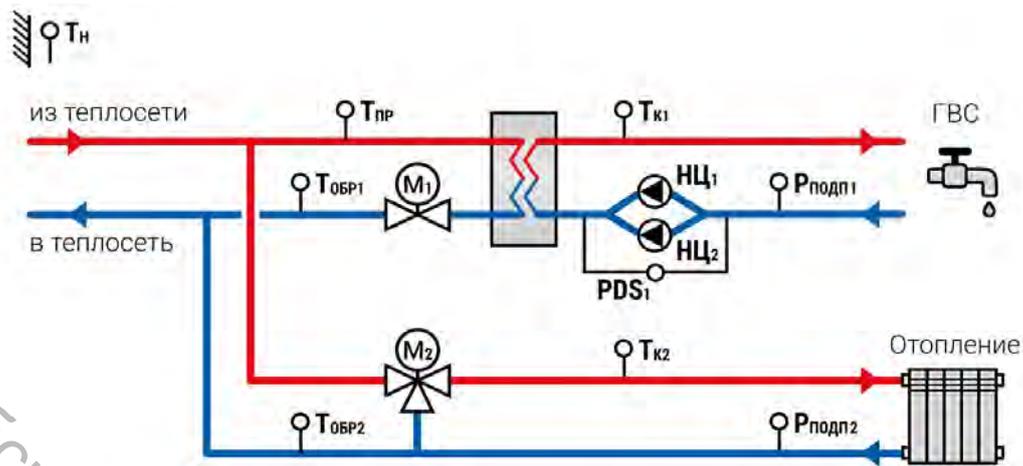


Рисунок 6 – Технологическая схема контура автоматического управления ГВС в ИТП

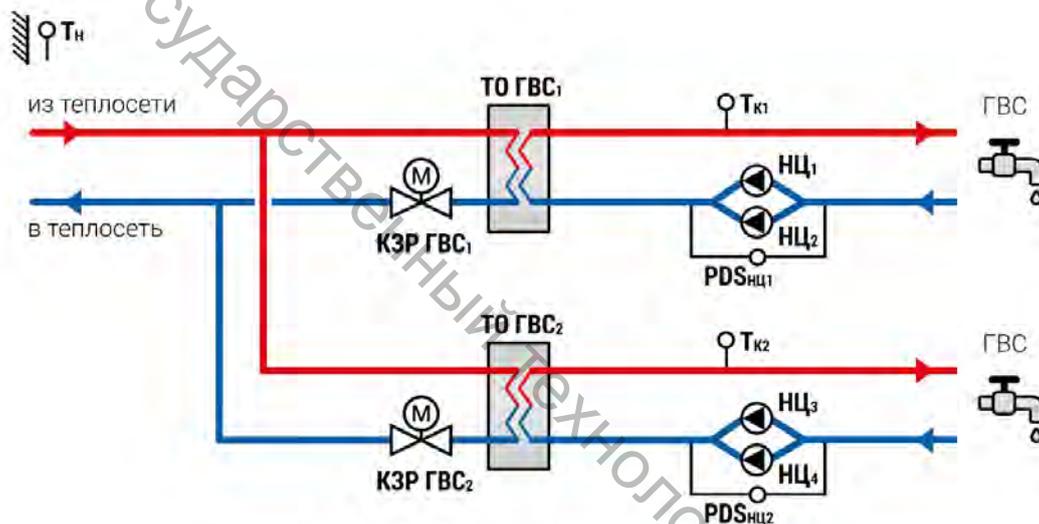


Рисунок 7 – Технологическая схема контура автоматического управления ГВС в ИТП

Буквенные условные обозначения на рисунках 3–7:

T_n – датчик температуры наружного воздуха;

$T_{пр}$ – датчик температуры подачи теплоносителя из теплосети;

$T_{обр}$ – датчик температуры обратного теплоносителя;

$T_{к1}$, $T_{к2}$ – датчик температуры в первом и втором контуре;

$T_{обр.1}$, $T_{обр.2}$ – датчик температуры в первом и втором обратном трубопроводе;

$P_{подп1}$, $P_{подп2}$ – измерение давления в первом и втором контуре;

M_1 , M_2 – регулирующие клапаны с электроприводом;

$PDS_{нц}$ – реле перепада давления на циркуляционных насосах;

$PDS_{нп}$ – реле перепада давления на подпиточном насосе;

$PS_{подп}$ – реле давления для работы подпитки;

$НП_1 \dots НП_4$ – насосы подпитки контура отопления;

$НЦ_1$, $НЦ_2$ – циркуляционные насосы первого контура;

НЦ₃, НЦ₄ – циркуляционные насосы второго контура;
НЦ₅, НЦ₆ – Сигналы управления циркуляционных насосов ХВС.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Расчетно-графическая работа 1

На рисунке 8 представлена технологическая схема автоматического управления горячим водоснабжением в индивидуальном тепловом пункте.

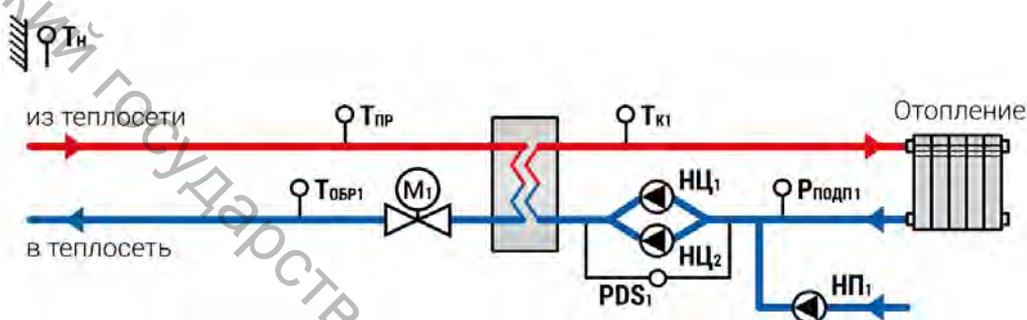


Рисунок 8 – Технологическая схема автоматического управления ГВС в ИТП

Необходимо разработать функциональную схему автоматизации для данного контура.

Автоматизированную систему управления можно разбить на следующие контуры управления:

- 1 – контур температуры окружающей среды;
- 2 – контур теплообмена;
- 3 – контур контроля температуры воды, приходящей от потребителя в теплосеть;
- 4 – контур управления давлением воды в теплосети;
- 5 – контур управления перепадом давления воды от потребителя.

Функциональная схема автоматического управления отоплением в ИТП разработана в соответствии с ГОСТом 21.208-2013 и представлена на рисунке 9. Перечень условно-графических обозначений, использованных при ее составлении, представлен в таблице 3.

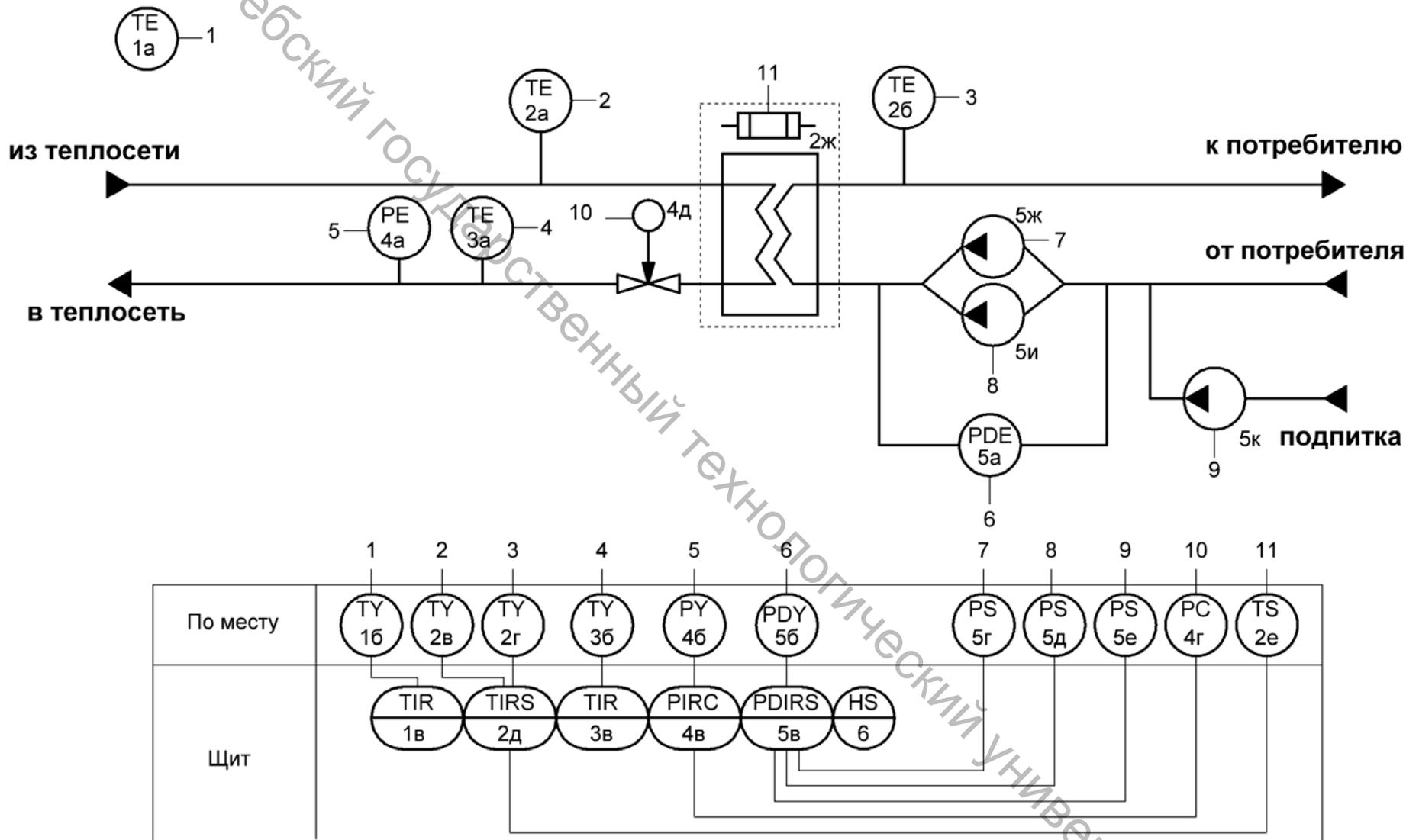
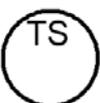


Рисунок 9 – Функциональная схема автоматического управления ГВС в ИТП

Таблица 3 – Перечень условно-графических обозначений

Обозначение	Наименование
	Первичный измерительный преобразователь температуры, расположенный по месту
	Вторичный преобразователь сигнала температуры, расположенный по месту
	Прибор в контуре контроля температурой с функцией индикации и регистрации, расположенный на щите
	Прибор в контуре управления температурой с функцией индикации, регистрации и переключения, расположенный на щите
	Прибор в контуре управления температурой с функцией переключения, расположенный по месту
	Первичный измерительный преобразователь давления, расположенный по месту
	Вторичный преобразователь сигнала давления, расположенный по месту
	Прибор в контуре управления давлением с функцией индикации, регистрации и регулирования, расположенный на щите
	Первичный измерительный преобразователь перепада давления, расположенный по месту
	Вторичный преобразователь сигнала перепада давления, расположенный по месту
	Прибор в контуре управления перепадом давления с функцией индикации, регистрации и переключения, расположенный на щите
	Прибор в контуре управления давлением с функцией переключения, расположенный по месту
	Прибор в контуре управления давлением с функцией регулирования, расположенный по месту
	Панель управления

Первый контур состоит из датчика температуры наружного воздуха 1а, который передаёт на устройство 1в показания о текущем значении температуры.

В третьем контуре процесс контроля температуры воды происходит аналогичным образом.

Во втором контуре происходит нагрев или охлаждение воды при помощи ТЭНа 2ж, контроль температуры на входе и выходе теплообменника осуществляется при помощи датчиков температуры 2а и 2б.

В четвертом контуре происходит измерение давления датчиком 4а. Управление данной величиной осуществляется регулирующим органом 4д.

В пятом контуре происходит определения перепада давления датчиком 5а, в зависимости от величины которого осуществляется управление циркуляционными насосами 5ж и 5и, а также подпиточным насосом 5к.

Расчетно-графическая работа 2

В соответствии с разработанной ранее функциональной схемой автоматизации выбраны следующие контрольно-измерительные приборы.

1. Датчик давления DMP 331PI.

Технические характеристики:

- диапазоны измерения: от 0...0,4 до 0...40 бар, абсолютное, избыточное, разрежение;
- основная погрешность: 0,1% ДИ;
- выходной сигнал: 0/4...20 мА, 0...10 В, 0...5 В;
- сенсор: кремниевый тензорезистивный;
- диапазон температур измеряемой среды: -25...+300 °С;
- класс защиты: IP 65-68;
- механическое присоединение: VARIVENT®, M20x1.5, G $\frac{1}{2}$ ", G $\frac{3}{4}$ ", G1", G1 $\frac{1}{2}$ ", фланец, пищевые исполнения (DIN 11851, Clamp);
- электрическое присоединение: DIN 43650, Binder 723 (5 конт.), M12x1 (4 конт.), кабельный ввод PG7, Виссaneer.

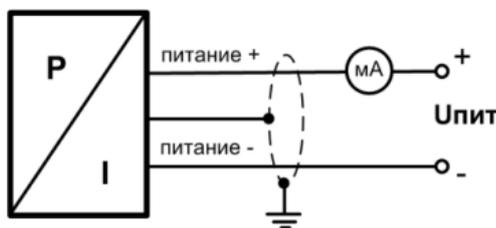


Рисунок 10 – Схема подключения датчика давления DMP 331PI

2. Датчик перепада давления DMD 331

Технические характеристики:

- диапазоны измерения: от 0...0,2 до 0...16 бар, разрежение, дифференциальное;

- основная погрешность: 1/0,5 % ДИ;
- выходной сигнал: 0/4...20 мА, 0...10 В;
- сенсор: кремниевый тензорезистивный;
- диапазон температур измеряемой среды: -25...+125 °С;
- класс защиты: IP 65,67;
- механическое присоединение: M20x1,5; G¹/₂" , G³/₄" (внутр.); 7/16" UNF;
- электрическое присоединение: разъем с сальниковым вводом DIN 43650 (IP 65), кабельный ввод PG 7 / 2 м кабеля (IP 67), разъем M12x1, 4-конт. (IP 67).

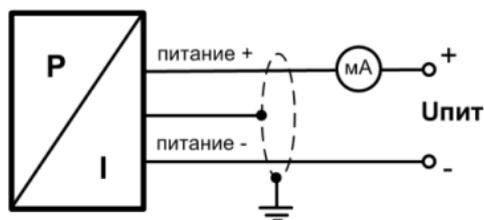


Рисунок 11 – Схема подключения датчика перепада давления

3. Датчик температуры воды ДТС075М-100П.0,5.100.И.

Технические характеристики:

- среда измерения: твердые, жидкие, газообразные и сыпучие среды;
- в состав термопреобразователей входят: первичный преобразователь (термозонд) – термопреобразователь сопротивления (ДТС); измерительный преобразователь НПТ-3, встроенный в головку датчика;
- диапазон температур окружающего воздуха при эксплуатации: -40...+85 °С.
- использование в составе изделия преобразователя аналоговых сигналов НПТ-3 позволяет получать данные об измеренной температуре по 4...20 мА в пределах всего диапазона измерения соответствующего сенсора (его НСХ) с указанной точностью.

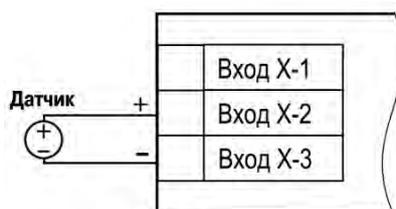


Рисунок 12 – Схема подключения датчика температуры

4. Датчик температуры воздуха ДТС125М-50М.0,5.60.И

Технические характеристики:

- номинальная статическая характеристика (НСХ): 50М;
- диапазон измеряемых температур: -50...+100 °С, -50...+150 °С, -60...+85 °С;

- показатель тепловой инерции: не более 10...30 с;
- исполнение сенсора относительно корпуса: изолированный;
- тип резьбового штуцера: метрическая резьба, трубная резьба;
- материал защитной арматуры: сталь 12Х18Н10Т, латунь;
- степень защиты: IP54 (IP67 – для моделей 314, 414, 164, 174, 294).

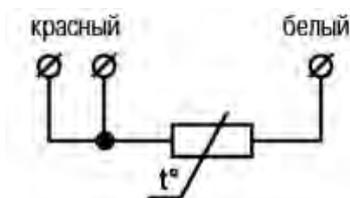


Рисунок 13 – Схема подключения датчика перепада давления

В качестве измерителя-регулятора может быть использован ПЛК совместно с модулями ввода/вывода или терморегулятор совместно с ПЛК.

Выбран ОВЕН ПЛК160 с характеристиками:

- расширенный температурный рабочий диапазон окружающего воздуха: от минус 10 °С до +50 °С;
- закрытые взрывобезопасные помещения или шкафы электрооборудования без агрессивных паров и газов;
- верхний предел относительной влажности воздуха – 80 % при 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа;
- по устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации ПЛК160 соответствует группе исполнения В4 по ГОСТу 12997-84;
- по устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации ПЛК160 соответствует группе исполнения N2 по ГОСТу 12997;
- по устойчивости к воспламенению и распространению пламени FV1 корпус контроллера соответствует ГОСТу Р 51841, разделу 6;
- контроллер выполнен в компактном DIN-реечном корпусе;
- расширение количества точек ввода/вывода осуществляется путем подключения внешних модулей ввода/вывода по любому из встроенных интерфейсов.

Таблица 4 – Характеристики входов и выходов ПЛК160

Контроллер	ПЛК160
Дискретные входы	16
Дискретные выходы	12
Аналоговые входы	8
Аналоговые выходы	4

В соответствии с выбранными элементами системы, разработана электрическая схема подключения (рис. 14). К схеме подключения составлен перечень технических средств.

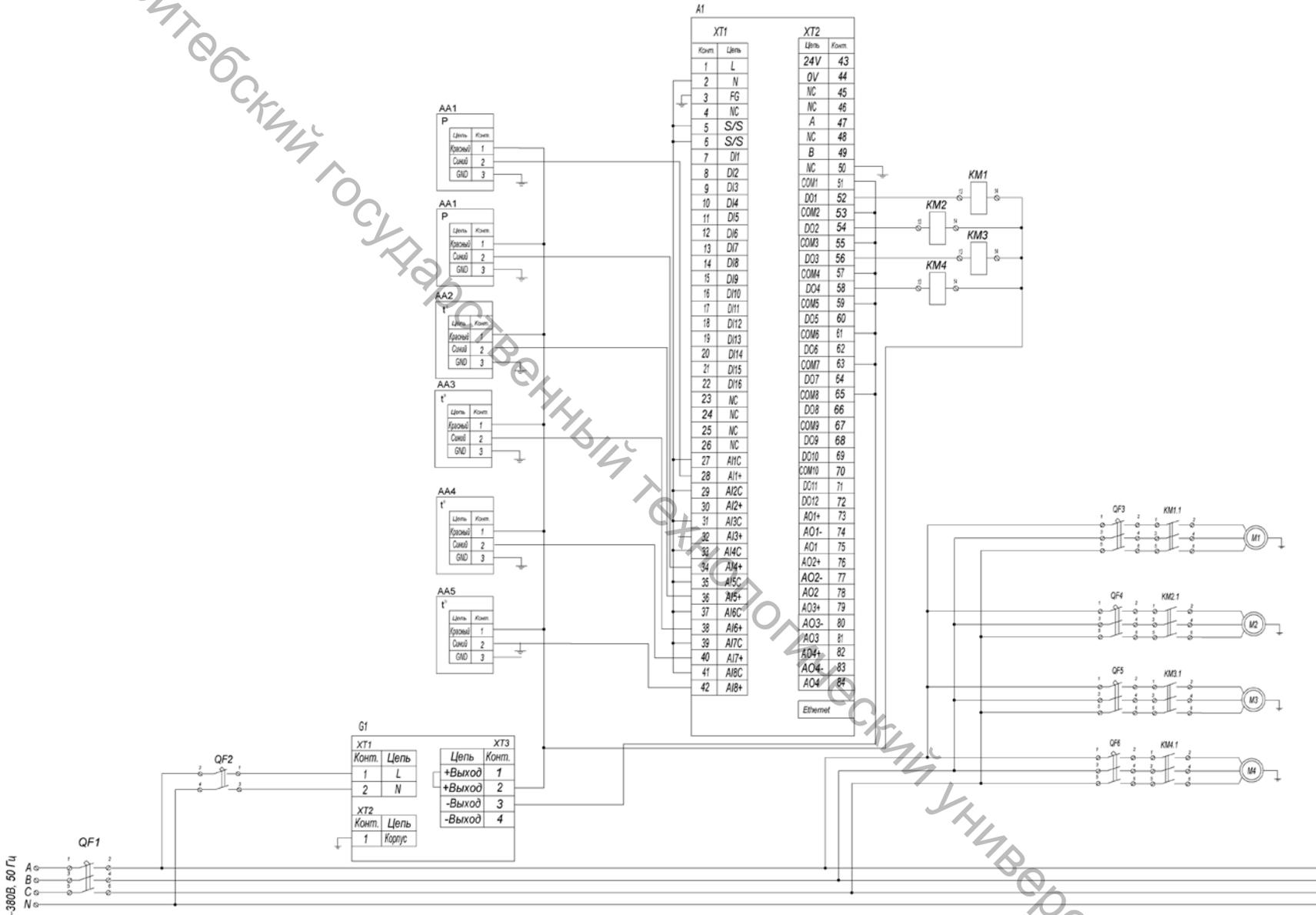


Рисунок 14 – Электрическая схема подключения

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Функциональные блоки</u>			
A1	Программируемый логический контроллер ПЛК 160-	1	
<u>Датчики</u>			
AA1	Датчик давления DMP331PI	1	
AA2	Датчик перепада давления DMD331	1	
AA3	Датчик температуры ДТС075М-100П.0,5.100.И	3	
AA6	Датчик температуры ДТС125М-50М.0,5.60.И	1	
<u>Источники питания</u>			
G1	Блок питания БП60Б-Д4-12	1	
<u>Коммутирующие устройства</u>			
KM1-KM4	Силовое реле	4	
<u>Исполнительные устройства</u>			
M1	Привод регулирующего клапана	1	
M2-M3	Циркуляционный насос	2	
M4	Подпиточный насос	1	
<u>Защитные устройства</u>			
QF1-QF6	Автоматический выключатель	6	

УО «ВГТУ» РГР.0ХХ 1-43 01 07 ПЭ5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Иванов И.И.		
Провер.		Клименкова		
Реценз.				
Н. Контр.				
Утверд.				

АСУ ГВС ИТП
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов

УО «ВГТУ» каф. АПП

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, В. И. Теория автоматического регулирования теплоэнергетических процессов. Практикум : учебное пособие / В. И. Назаров. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 215 с.
2. Назаров, В. И. Теплотехнические измерения и приборы : учебное пособие / В. И. Назаров. – Минск : Вышэйшая школа, 2017. – 280 с.
3. Рачков, М. Ю. Физические основы измерений : учебное пособие для академического бакалавриата / М. Ю. Рачков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – 146 с.
4. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Метрология, методы и приборы технических измерений» для специальности 1-40 05 01-01 «Информационные системы и технологии (в проектировании и производстве)» [Электронный ресурс] / УО «ВГТУ» ; сост. В. В. Мурычева. – Витебск, 2018.

Учебное издание

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению
расчетно-графических работ

Составители:

Клименкова Светлана Александровна
Соколова Анна Сергеевна
Самусев Артем Михайлович

Редактор *А.В. Пухальская*
Корректор *А.В. Пухальская*
Компьютерная верстка *А.С. Соколова*

Подписано к печати 25.05.2023. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 1,3.
Уч.-изд. листов 1,7. Тираж 2 экз. Заказ № 146.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

Учебное издание

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению
расчетно-графических работ

Составители:

Клименкова Светлана Александровна
Соколова Анна Сергеевна
Самусев Артем Михайлович

Редактор *А.В. Пухальская*
Корректор *А.В. Пухальская*
Компьютерная верстка *А.С. Соколова*

Подписано к печати 25.05.2023. Усл. печ. листов 1,3.
Уч.-изд. листов 1,7. Заказ № 147.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.