

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет»

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ.
ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СТАНКОВ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ СТАНКА

Методические указания к лабораторной работе

для студентов специальности

1-36 01 01 «Технология машиностроения»

Витебск
2018

УДК 621.9

Составители:

Н. В. Путеев, Р. В. Окунев, А. Л. Климентьев

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 6 от 25.06.2018.

**Конструирование и расчет станков. Исследование и испытание
станков. Исследование теплового поля станка** : методические указания к
лабораторной работе / сост. Н. В. Путеев, Р. В. Окунев, А. Л. Климентьев. –
Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 16 с.

Методические указания являются руководством по выполнению лабораторной работы «Исследование теплового поля станка» по учебной дисциплине «Конструирование и расчет станков». Изложены содержание, описание основных объектов, перечень используемого лабораторного оборудования, методика выполнения работы, а также правила оформления отчета. Кроме того, приведены некоторые справочные сведения, необходимые для выполнения работы. Предназначены для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения».

УДК 621.9

© УО «ВГТУ», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ	5
2 ЗАДАЧИ СТУДЕНТА	5
3 ОБЪЕКТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	5
4 СВЕДЕНИЯ О СПОСОБАХ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ	6
5 СВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЯ	11
6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	12
7 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА	12
8 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	13
ЛИТЕРАТУРА	14
Приложение А	15

ВВЕДЕНИЕ

В распоряжении современного инженера-конструктора станков имеются развитые программные продукты, например AUTODESKINVENTOR.

Однако на достоверность результатов расчетов при проектировании можно рассчитывать лишь в том случае, когда исходные данные соответствуют процессам в реальном станке.

Одним из процессов, определяющих точность и нагруженность станка, является нагрев при работе.

Понимание причин нагрева, знание его локализации величины в деталях и узлах станков позволяют правильно моделировать средствами AUTODESKINVENTOR температурные напряжения, точность, долговечность и другие параметры станка. Поэтому изучение температурных полей станков, умение оптимизировать влияние нагрева на технологический процесс является важной задачей при подготовке инженера-конструктора.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является получение знаний о температурных полях современных станков различного назначения и основных узлов станков, таких как шпинNELи, коробки передач и др. Также необходимо развить навыки применения полученных знаний при оптимизации конструкции станков от воздействия тепловых полей на параметры точности, шероховатости и т. д. Выполнение лабораторной работы является частью подготовки студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» к глубокому освоению возможностей современного программного продукта AUTODESK INVENTOR, познание его преимуществ в сравнении с классическими методами расчета перемещений и напряжений от температурных полей. Также лабораторная работа готовит студента к выполнению дипломного проекта.

2 ЗАДАЧИ СТУДЕНТА

Задачами студента при выполнении лабораторной работы являются:

- определение источников тепла в различных типах станков;
- изучение температурных полей в коробках скоростей и подач в различных типах станков;
- изучение температурных полей в шпиндельном узле различных станков;
- определение влияния температурных перемещений деталей станка на точность, шероховатость изделий;
- установление связи между температурным полем станка и нагруженностью деталей станка;
- изучить и освоить применение различных устройств для измерения температурных полей современных станков различного назначения и основных узлов станков, таких как шпинNELи, коробки передач и др.
- умение сформировать рекомендации по компенсации негативного влияния температуры;
- развитие навыков в работе с технической литературой;
- формирование выводов по работе;
- оформление отчета.

3 ОБЪЕКТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Объектами практической работы являются станки и паспорта станков:

- токарно-винторезный 16К20;
- вертикально-фрезерный 6Н11;
- сверлильный 2Г125;
- горизонтально-фрезерный 6Н81;
- поперечно-строгальный 7305;
- сверлильный 2Н118;
- радиально-сверлильный 2Б52;
- плоскошлифовальный ЗЕ 711В;
- круглошлифовальный М1432 В.

Станки разнятся по мощности, конструкции, компоновке, приводным устройствам, инструменту и т. д.

Оборудование для лабораторной работы:

- лазерный пирометр С-20.3 с пределом измерений от -18 до +1250 °С;
- мультиметр UT 58;
- термометр цифровой малогабаритный ТЦМ 9410/М2 с термопреобразователем ТТЦ – 19 250.

Таким образом, выполнение лабораторной работы позволяет студентам освоить современное оборудование для контактного и дистанционного измерения температуры, изучить температурные поля наиболее распространенных типов станков, а также применять полученные навыки при испытаниях, конструировании и расчете станков.

4 СВЕДЕНИЯ О СПОСОБАХ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Узлы и детали в станке нагреваются различным образом. Различаются как абсолютные значения температур, так и скорость нагрева. Так, резец у токарного станка подвержен быстрому и интенсивному нагреву. Масло в системе смазки станка прогревается медленно и не достигает значительных температур.

Поэтому для изучения температурных полей станка необходимо применять различное оборудование.

Измерители температуры, использующие расширение жидкости или газа, пригодны для измерения медленно изменяющихся температур. Термопары способны измерять широкий диапазон температур и малоинерционны. Также преимуществом термопар являются малые габариты спая. Бесконтактные измерители работают дистанционно и в широком диапазоне температур.

По [1] пирометры и тепловизоры предназначены для бесконтактного измерения температуры объекта. Принцип их работы основан на том, что все нагретые тела излучают инфракрасные волны различной интенсивности в зависимости от температуры, до которой они нагреты.

Различают пирометры полного и частичного излучения. Пирометры полного излучения восприимчивы к радиационному излучению всех длин волн.

Они рассчитывают температуру объекта по показателю суммарной мощности теплового излучения. Яркостные пирометры измеряют температуру нагретого до свечения объекта путем сравнения его цвета с цветом эталонной нагретой нити внутри пирометра. Недостатками пирометров данного типа являются низкая точность, ограниченный диапазон измерения температур и неудобство в применении.

Широкое распространение в настоящее время получили инфракрасные пирометры, принцип работы которых основан на восприятии полупроводниковым чувствительным элементом ИК-излучения от объекта с дальнейшим преобразованием и обработкой сигнала электронной схемой. Разновидностью инфракрасных пирометров являются цветовые пирометры (мультиспектральные). Они позволяют делать вывод о температуре объекта, сравнивая результаты измерения теплового излучения объекта в различных спектрах, тем самым повышая точность измерения. Достоинством инфракрасных пирометров является их высокая точность, возможность настройки диапазона измерения и выходного сигнала, а также широкий диапазон измеряемых температур. Современные пирометры могут измерять, в том числе и отрицательные температуры. Значение температуры преобразуется в удобный для восприятия вид.

В тепловизоре кроме IR-сенсора установлена видеокамера. Полученное с камеры изображение выводится на цветной дисплей прибора. Путем наложения изображений с видеокамеры и IR-сенсора на дисплее прибора изображение объекта приобретает соответствующую окраску в зависимости от температуры этой части объекта. На дисплее так же отображается градиентная цветовая шкала, и цифровое значение температуры части объекта, на которую наведен маркер.

Области применения пирометров и диапазон измеряемых температур в зависимости от спектрального диапазона IR-сенсора приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Области применения пирометров и диапазон измеряемых температур в зависимости от спектрального диапазона IR-сенсора

Спектральный диапазон, мкм	Спектральный диапазон, мкм	Спектральный диапазон, мкм
0,65	Применение в металлургии для замены пирометров с исчезающей нитью	600 ... 4000
0,65	Применение в металлургии для замены пирометров с исчезающей нитью	600 ... 4000
0,7...1,1	Измерение температур расплавов металлов, в том числе сквозь защитные стекла	300 ... 4000
1,0...1,6	Измерение температур поверхности металлов, полупроводников, стекломассы на глубине	200 ... 2000
2,0...2,6	Измерение температур черных и цветных металлов в металлургии и металлообработке	150 ... 1800

Окончание таблицы 1

3,40...3,45	Измерение температуры тонких пленок полиэтилена, полипропилена, полиуретана, полистирола	50 ... 600
3,8...3,9	Измерение температуры сквозь пламя и газы	300 ... 2500
4,8...5,2	Измерение температуры поверхности стекла, керамики и черных металлов	100 ... 2500
7,9	Измерение температур тонкого пластика, тонких пленок полиэфиров перфторуглеродов, низкотемпературные технологические процессы производства изделий из стекла	0 ... 600
7 ... 10	Измерение низких температур сквозь технологические окна из CaF ₂ или Si	0 ... 600
6,5 ... 14	Широкий спектр применения для измерения низких температур	-20 ... 400
0,65	Применение в металлургии для замены пиromетров с исчезающей нитью	600 ... 4000
0,7...1,1	Измерение температур расплавов металлов, в том числе сквозь защитные стекла	300 ... 4000

Термопары [1] являются самым распространённым средством измерения температуры в промышленности и лабораториях.

Это связано с их широким температурным диапазоном (от -270 до +2500 °C), обычно удовлетворительной точностью, низкой ценой, взаимозаменяемостью и высокой надёжностью.

Термопара представляет собой два провода из различных металлов, соединённых на одном конце (рабочий конец, горячий спай). Вторые концы термопары (свободные концы, холодный спай) соединены со средством измерения напряжения с помощью проводов из металла одного типа, например меди.

Между двумя несоединёнными выводами термопары возникает ЭДС, величина которой зависит от температуры горячего спая.

Очень важно обеспечить хороший тепловой контакт между свободными концами термопары и датчиком их температуры. С этой целью для точных измерений используют медную или алюминиевую пластину, к которой через диэлектрическую прокладку прикрепляются свободные концы термопары и датчик температуры. Конструкция выполняется таким образом, чтобы были обеспечены не только хороший тепловой контакт пластины с датчиком и термопарными проводами, но и изотермичность поверхности.

Для подключения термопары к модулю ввода применяют специальные термопарные провода, выполненные из того же материала, что и сама термопара. В принципе здесь можно использовать и обычные медные провода, однако в этом случае необходим выносной датчик температуры холодного спая, который должен измерять температуру в месте контакта термопары с

медными проводами.

Примеры подключения термопар приведены на рисунке 1.

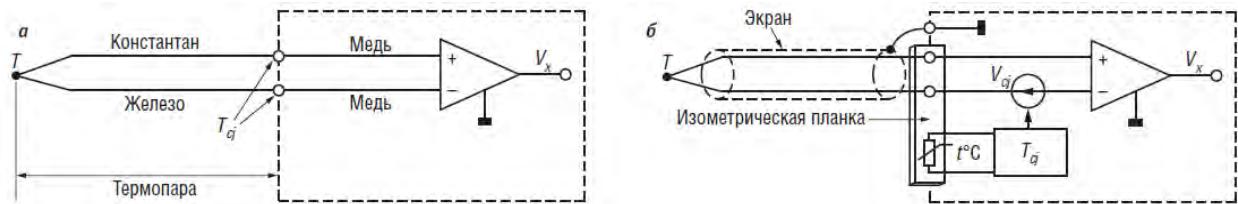


Рисунок 1 – Измерение сигнала термопары без компенсации температуры холодного спая (а) и с компенсацией (б)

Сварка проводов термопары, изготовленных из разных металлов, выполняется таким образом, чтобы получилось небольшое по размеру соединение – спай. Провода можно просто скрутить, однако такое соединение ненадёжно и имеет большой уровень шумов. Сварку металлов иногда заменяют пайкой, но верхняя граница диапазона измерений такой термопары ограничена температурой плавления припоя. Термопары, изготовленные сваркой, выдерживают более высокую температуру, однако химический состав термопары и структура металла в процессе сварки могут нарушаться, что приводит к увеличению разброса градуировочных характеристик.

Под действием высокой температуры в процессе эксплуатации может произойти уход характеристики термопары от номинального вида вследствие окисления и диффузии компонентов окружающей среды в металл, а также изменения структуры материала. В таких случаях термопару следует откалибровать заново или заменить.

Промышленностью выпускаются термопары трёх различных конструкций: с открытым спаем, с изолированным незаземлённым спаем и с заземлённым спаем. Термопары с открытым спаем имеют малую постоянную времени, но плохую коррозионную стойкость. Термопары двух других типов применимы для измерения температуры в агрессивных средах. Изготавливают также микроминиатюрные термопары по тонкоплёночной и полупроводниковой технологиям для измерений температуры малоразмерных тел, в частности, поверхности полупроводниковых компонентов.

При высоких температурах сопротивление материала изоляции термопары уменьшается, и токи утечки через изоляцию могут вносить погрешность в результат измерения. Погрешность возрастает также при попадании жидкости внутрь термопары, вследствие чего возникает гальванический эффект.

Основная проблема построения измерительного канала на базе термопары связана с её малым выходным напряжением (около 50 мкВ на градус), которое гораздо меньше помех, наводимых на элементах измерительной цепи в обычных условиях. Поэтому очень важно правильно выполнить экранирование и заземление проводов, идущих от термопары к

модулю ввода. Модуль ввода желательно помещать по возможности ближе к термопаре, чтобы снизить длину проводов, по которым передаётся аналоговый сигнал. Для снижения уровня помех с частотой 50 Гц в модулях ввода используют фильтр.

Примеры пар металлов для термопар даны в таблице 2.

Таблица 2 – Примеры пар металлов для термопар

Материал положительного электрода	Материал отрицательного электрода	Диапазон измерений, °C
Железо, Fe	Константин, Cu-Ni (55 % Cu)	0...900
Хромель, Cr-Ni (90,5 % Ni)	Алюмель, Ni-Al (94,5 % Ni)	-250...40
Медь, Cu	Константин, Cu-Ni (55 % Cu)	-200...40
Хромель, Cr-Ni (90,5 % Ni)	Константин, Cu-Ni (55 % Cu)	-200...40
Нихросил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	Нисил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	-250...40
Платина-родий (13 % Rh)	Платина, Pt	0...1600
Платина-родий (30 % Rh)	Платина-родий (6 % Rh)	600...1800
Хромель, Cr-Ni (90,5 % Ni)	Копель, Cu-Ni (56 % Cu)	-200...100
Медь, Cu	Копель, Cu-Ni (56 % Cu)	-200...100
Вольфрам-рений, W-Re (5 % Re)	Вольфрам-рений, W-Re (20 % Re)	1000...2500

Важным достоинством термопар является очень низкое внутреннее сопротивление, что делает их практически нечувствительными к ёмкостным наводкам. Точность термопары зависит от химического состава материала. Внешние факторы, такие как давление, коррозия, радиация, могут изменить кристаллическую структуру или химический состав материала, что приводит к росту погрешности измерений. Погрешность измерений с помощью термопар складывается из следующих составляющих:

- случайная погрешность, вызванная технологическим разбросом характеристик термопары (зависит от чистоты материалов и точности их процентного содержания в материалах электродов, табл. 3);
- случайная погрешность измерения температуры холодного спая;
- погрешность, вызванная постепенной деградацией характеристик при высокой температуре;
- систематическая погрешность компенсации нелинейности (погрешность линеаризации) характеристики преобразования температуры в напряжение;
- систематическая погрешность термического шунтирования, связанная с теплоёмкостью датчика;
- динамическая погрешность;
- погрешность, вызванная внешними помехами;
- погрешность аналого-цифрового канала.

Погрешность измерения температуры холодного спая, погрешность линеаризации, погрешность аналого-цифрового канала и динамическая погрешность относятся к инструментальным погрешностям и указываются в паспорте на модуль ввода. Другие погрешности необходимо учитывать отдельно, в зависимости от типа использованных термопар, электромагнитной обстановки, характеристик объекта измерения и т. п. Примеры термопар даны в таблице 3.

Таблица 3 – Типы термопар и их основные параметры по 2–3 классам допуска

Тип	Обозна чение	Материал положительного электрода	Материал отрицательного электрода	Диапазон измерений, °C	Пределы отклоне-ний, °C	Класс допу- ска
J	ТЖК	Железо, Fe	Константин, Cu-Ni (55 % Cu)	0...333 333...900	±2,5 ±0,0075T	2
K	ТХА	Хромель, Cr-Ni (90,5 % Ni)	Алюмель, Ni-Al (94,5 % Ni)	-250...-167 -167...40	±0,015T ±2,5	3
T	ТМК	Медь, Cu	Константин, Cu-Ni (55 % Cu)	-200...-66 -66...40	±0,015T ±1,0	3
E	ТХКн	Хромель, Cr-Ni (90,5 % Ni)	Константин, Cu-Ni (55 % Cu)	-200...-167 -167...40	±0,015T ±2,5	3
N	ТНН	Нихросил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	Нисил, Ni-Cr-Si-Fe-C-Mg	-250...-167 -167...40	±0,015T ±2,5	3
R	ТПП	Платина-родий (13 % Rh)	Платина, Pt	0...600 600...1600	±1,5 ±0,0025T	2
B	ТПР	Платина-родий (30 % Rh)	Платина-родий (6 % Rh)	600...800 800...1800	±4 ±0,005T	3
L	ТХК	Хромель, Cr-Ni (90,5 % Ni)	Копель, Cu-Ni (56 % Cu)	-200...-100 -100...100	±1,5+0,01T ±2,5	3
M	ТМК	Медь, Cu	Копель, Cu-Ni (56 % Cu)	-200...0 0...100	±1,3+0,001T ±1	–
A1,A2, A3		Вольфрам-рений, W-Re (5 % Re)	Вольфрам-рений, W-Re (20 % Re)	1000...2500	±0,0075T	3

5 СВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЯ

В [2] отмечено, что изменение размеров деталей вследствие изменения температуры может иметь то же воздействие, что и изменение размеров под нагрузкой, то есть сопровождаться возникновением напряжения.

Температурное изменение размера приравнено к изменению размера под нагрузкой, что позволило [2] получить равенство:

$$\alpha(t - t_0) = \sigma / E,$$

где α – коэффициент линейного расширения, t и t_0 – конечная и начальная температуры нагрева соответственно, σ – напряжение, возникающее от изменения температуры, E – модуль упругости.

Из приведенного уравнения получается формула для расчета температурного напряжения:

$$\sigma = E\alpha(t - t_0)$$

Данная формула справедлива для деталей типа стержней. В [2] также приведены формулы для расчета температурных напряжений в деталях типа оболочек и пластин. Поскольку большинство деталей станков являются таковыми, либо их комбинацией, студентам при расчетах тепловых напряжений следует ими пользоваться.

В лабораторной работе студент по заданию преподавателя должен оценить температурные напряжения одной из деталей станка, например шпинделя.

6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа выполняется за 2 академических часа.

Студент обязан выполнить:

- изучение методов измерения температур;
- изучение оборудования для измерения температур;
- установление температурного поля станка и его базовых узлов на холостом ходу;
- установление температурного поля станка и его базовых узлов под нагрузкой;
- провести измерения температур различным оборудованием;
- установление влияния температурного поля станка на его показатели;
- установление влияния температурного поля станка на нагруженность;
- оценить температурные напряжения конкретной детали станка, заданной преподавателем;
- формирование рекомендаций по компенсации негативного влияния температурного поля станка;
- написание и предоставление отчета преподавателю.

7 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется студентом в ученической тетради или на листах формата А4.

Отчет должен содержать:

- титульный лист;
- индивидуальное задание на лабораторную работу;
- описание оборудования, схему и методику измерения температурных полей станка и выбранных узлов;
- схему температурных полей станка и выбранных узлов;
- анализ температурных напряжений;
- анализ влияния температуры на показатели технологического процесса;
- выводы и рекомендации;
- использованные источники.

8 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите методы измерения температуры.
2. Назовите оборудование для измерения температуры.
3. Что такое термопара?
4. Что такое температурная компенсация?
5. Что такое гальваническая пара?
6. Опишите температурное поле станка по заданию.
7. Чем вызвано размещение электродвигателя вне станины станка?
8. Назовите основные источники тепла в станках разного назначения.
9. Назовите материалы для термопар.
10. Изобразите схему включения термопары без температурной компенсации.
11. Назовите пары металлов для термопары.
12. Опишите влияние температуры на технологические параметры станка.
13. Изобразите схему включения термопары с температурной компенсацией.
14. Назовите физические эффекты, используемые в измерителях температуры.
15. Укажите пределы измерения температур для различных устройств.
16. Укажите пределы изменения температур для различных деталей и узлов станков.
17. Опишите влияние температурного воздействия на напряженность в деталях станков.
18. Как влияет температура на точность станков?
19. Приведите примеры конструктивной компенсации температурных перемещений.
20. Опишите погрешности различных устройств для измерения температуры.
21. Чем оптимальнее измерять температуру в зоне резания?
22. Какова допустимая температура подшипниковых узлов станка?

ЛИТЕРАТУРА

1. Пирометры и тепловизоры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://knowkip.ucoz.ru/publ/teplotekhnicheskie_izmerenija/pirometry_i_teplov_izory/1-1-0-5/ – Дата доступа : 16.11.2015.
2. Термопары : принципы применения, разновидности, погрешности измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.cta.ru/cms/f/447068.pdf/> – Дата доступа : 16.11.2015.
3. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов. Т. 1 / С. П. Тимошенко. – Москва : Наука, 1969. – 364 с.
4. Кочергин, А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование : учеб. пособие для вузов машиностроит. спец. / А. И. Корчегин. – Минск : Высш. шк., 1991. – 381 с.
5. Олейник, Б. Приборы и методы температурных измерений. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 293 с.
6. ГОСТ Р 8.585-2001. ГСИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования.
7. ГОСТ 6651-94. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытания.

Приложение А
Образец оформления титульного листа отчета

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования «Витебский государственный технологический
университет»
Кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства»

Отчет
по лабораторной работе

«Исследование теплового поля станка»

Студент _____
(подпись) _____ (фамилия И.О.)
группа

Преподаватель _____
(подпись) _____ (фамилия И.О.)

Витебск
20 ..

Учебное издание

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТАНКОВ.
ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СТАНКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ СТАНКА

Методические указания к лабораторной работе

Составители:

Путеев Николай Владимирович

Окунев Роман Владимирович

Климентьев Андрей Леонидович

Редактор *Н.В. Медведева*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *А.Л. Климентьев*

Подписано к печати 09.10.2018. Формат 60x90 $\frac{1}{16}$. Усл. печ. листов 1,0.
Уч.-изд. листов 1,2. Тираж 30 экз. Заказ № 279.

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.