

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. Г. Кисель

**ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ АКТИВНОГО
КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлениям подготовки
15.04.01 Машиностроение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 67.05

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Кисель, А. Г.

Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / А. Г. Кисель. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 18 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям для направления подготовки 15.04.01 Машиностроение всех форм обучения.

Табл. 3, список лит. – 15 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 3

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 апреля 2023 г., протокол № 4

УДК 621.798

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Кисель А.Г., 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	13
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	17

ВВЕДЕНИЕ

Свойства лазерного излучения – малая расходимость пучка света, монохроматичность, когерентность, стабильность частоты колебаний световой волны, большая плотность потока энергии и высокая пиковая мощность импульсов – делают лазерные источники незаменимыми в различных областях науки и техники. К 2015 году более 80 ученых по всему миру стали нобелевскими лауреатами за открытия в области оптики и лазерной физики.

Оптические методы применялись для проведения различных измерений издавна. С появлением лазеров и разработкой новых источников излучения с различными уникальными свойствами, оптические измерения вышли на новый уровень.

Целью освоения дисциплины «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения» является формирование у обучающихся компетенций, которые позволяют применять основные методы определения физических параметров лазерного излучения, физические принципы и аппаратную реализацию методов в лазерных устройствах и технологиях.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- свойства лазерного излучения и методы измерения параметров лазеров;
- основные методы повышения надежности и долговечности изделий машиностроения;

- параметры продукции для осуществления автоматизированного контроля;

- методологию повышения износостойкости изделий;

уметь:

- применять свойства лазерного излучения и методы измерения параметров лазеров;

- использовать основные методы повышения надежности и долговечности изделий машиностроения;

- определять параметры продукции для осуществления автоматизированного контроля;

- разрабатывать методологию повышения износостойкости изделий;

владеть:

- навыками применения в профессиональной деятельности методов повышения надежности и долговечности изделий машиностроения;

- навыками осуществления автоматизированного контроля заданных параметров продукции;

- навыками разработки технологических процессов восстановления и повышения износостойкости изделий

При реализации дисциплины «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения» организуется практическая подготовка путем проведения практических работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения» студент должен активно работать на лекционных и семинарских занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены тестовые и практические задания. Тестирование и решение практических задач, обучающихся проводится на практических (семинарских) занятиях после изучения соответствующих тем. Тестовое задание предусматривает выбор правильного ответа на поставленный вопрос из предлагаемых вариантов ответа. Перед проведением тестирования преподаватель знакомит студентов с вопросами теста, а после – проводит анализ его работы. Перечень примерных тестовых и практических заданий представлен в фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета с оценкой, которая выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерий	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно- корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень ключевых вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области систем числового программного управления, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Измерение расстояний
2	Получение объемных изображений
3	Оптические методы измерения скорости
4	Метрология времени, частоты и длины

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

Тема 1. Измерение расстояний

Ключевые вопросы темы

1. Лазерная дальнометрия.
2. Триангуляционный метод.
3. Времяпролетный импульсный метод.
4. Различные типы импульсных лазерных дальномеров.
5. Метод фазового сдвига.
6. Бытовые фазовые дальнометры.
7. Метод модуляции частоты.
8. Интерферометрические методы измерения расстояний.

Ключевые понятия: дальномер, триангуляция, интерферометрические методы, модуляция частоты, времяпролетный импульсный метод, метод фазового сдвига.

Литература: [1, с. 7–30]

Методические рекомендации

Измерение расстояний посредством лазеров имеет ряд неоспоримых преимуществ. Основные – бесконтактность и высокая скорость проведения измерений. Отсутствие механического воздействия на объект измерений. Также можно перечислить большой диапазон измеряемых дистанций, высокую точность, возможность незаметного проведения измерений, проведения измерений в разных прозрачных средах и в вакууме.

Выбор типа лазерного дальномера для проведения измерений обусловлен несколькими факторами. При постановке задачи необходимо выяснить следующие параметры проведения измерений:

- минимальная и максимальная дистанции проведения измерений;
- необходимая точность измерений;
- время проведения одного измерения;
- возможность статистической обработки результатов;
- требования лазерной безопасности;
- необходимость незаметного проведения измерений;
- энергопотребление, габариты и вес прибора;
- цена прибора;
- срок жизни прибора.

Измерение расстояния лазерными дальномерами можно осуществлять разными способами: за счет геометрических построений (триангуляционные методы), исходя из времени полета светового сигнала до цели и обратно (импульсный времяпролетный, фазовый с модуляцией интенсивности и частоты света) и за счет волновых свойств света (интерференционные измерения).

Вопросы для самоконтроля

1. Что ограничивает диапазон и точность измерений лазерных дальномеров?
2. Есть ли опасность для глаз при использовании лазерных дальномеров?
3. В чем особенность измерений расстояний в космических масштабах?
4. Каковы отличия амплитудной и фазовой модуляции лазерного излучения и в чем их преимущества и недостатки?
5. В чем заключается сложность измерения больших дистанций методами интерферометрии?

Тема 2. Получение объемных изображений

Ключевые вопросы темы

1. 3D-сканеры на основе «структурированного света».
2. Лазерные сканеры с механической разверткой.
3. Сканирующий лидар для получения информации в режиме реального времени.
4. Лазерное сканирование в геодезии и картографии.
5. Батиметрия – зондирование дна водоемов.
6. Флэш-лидары.

Ключевые понятия: 3D-сканер, структурированный свет, механическая развертка, сканирующий лидар, батиметрия, флэш-лидар.

Литература: [1, с. 31–46]

Методические рекомендации

Лидары для построения пространственных изображений можно разделить на две категории.

К первой относятся приборы, которые строят изображения неподвижных объектов, получая данные с высоким пространственным разрешением в течение достаточного промежутка времени, который может составлять от нескольких секунд до минут в зависимости от задачи. Подобные устройства служат для «оцифровки» формы предметов, строительных конструкций и зданий, мест происхождения и т.д.

Ко второй категории можно отнести лидары для формирования модели оперативной обстановки для контроля положения движущихся предметов. К этим лидарам относятся устройства, используемые для контроля быстро меняющейся дорожной обстановки в системах помощи водителю и в «беспилотных» автомобилях. Также к ним можно отнести сканеры, устанавливаемые на быстро движущихся транспортных средствах, в том числе поездах, самолетах, и служащие для построения пространственных изображений окружающей обстановки по ходу движения.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие сканирующих лидаров от флэш-лидаров?
2. В каких спектральных диапазонах работают лидары, регистрирующие пространственные изображения?
3. Какие факторы ограничивают пространственное разрешение и дальность действия 3D-лидаров?

Тема 3. Оптические методы измерения скорости

Ключевые вопросы темы

1. Расчет скорости по измерению расстояния до объекта.
2. Доплеровские методы измерения скорости.
3. Доплеровские лидары.
4. Лазерная доплеровская анемометрия.
5. Метод цифровой трассерной визуализации.
6. Оптические гироскопы.
7. Сравнение гироскопов различных типов.
8. Принцип действия оптических гироскопов.
9. Основные характеристики гироскопов.
10. Кольцевой лазерный гироскоп.
11. Волоконно-оптический гироскоп.

Ключевые понятия: доплеровские методы, лидар, доплеровская анемометрия, трассерная визуализация, оптический гироскоп, лазерный гироскоп, волоконно-оптический гироскоп.

Литература: [1, с. 47–64]

Методические рекомендации

Лазерные методики повсеместно используются для измерений скоростей движения макроскопических объектов, воздушных потоков и жидкостей. Существуют два принципиально отличающихся способа измерения скоростей:

- по изменению координат объекта измерений;
- по доплеровскому сдвигу частоты излучения.

Выбор методики измерений определяется дистанцией измерений, требуемой точностью, требованиями лазерной безопасности и т.д. Измерения могут проводиться с помощью импульсных или непрерывных лазеров. Измерения посредством лазерного излучения отличаются точностью, надежностью и удобством применения.

Лазерные гироскопы обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с механическими гироскопами. Они малочувствительны к механическим воздействиям, стабильны в работе, точны и долговечны, имеют небольшое энергопотребление. Действие лазерных гироскопов основано на эффекте Саньяка, который является следствием релятивистского закона сложения скоростей и имеет объяснение в рамках теории относительности. При повороте кольцевого резонатора в инерциальном пространстве оптические пути, проходимые лучами, движущимися по часовой стрелке и против нее, оказываются неодинаковыми. Разность между оптическими путями приводит в этом случае к возникновению разности частот генерируемых колебаний, из

которой и рассчитывается скорость вращения резонатора. Появление лазерных гироскопов открыло новую страницу в обеспечении навигации.

Вопросы для самоконтроля

1. На каких принципах основаны оптические измерения скорости?
2. Каковы требования к источнику излучения лазерного радара?
3. Каковы требования к источнику излучения доплеровского измерителя скорости?
4. Какие физические эффекты определяют действие механического и оптического гироскопов?
5. В чем преимущество оптических гироскопов перед механическими?
6. Чем отличаются кольцевой лазерный и волоконно-оптический гироскопы?
7. От чего зависят точность измерений и стабильность оптических гироскопов?

Тема 4. Метрология времени, частоты и длины

Ключевые вопросы темы

1. Оптический эталон длины.
2. Оптические методы измерения времени.
3. Единый эталон единиц времени-частоты-длины.

Ключевые понятия: оптический эталон, оптические методы, единый эталон, время, частота, длина.

Литература: [1, с. 65–71]

Методические рекомендации

Создание эталонов, которые по своей точности соответствуют потребностям современной техники, стало возможным благодаря использованию оптических технологий.

По мере роста научных знаний стало понятно, что время, расстояние, энергия неразрывно связаны, и это привело к созданию единого эталона длины, времени и частоты.

Дальнейшее повышение точности эталонов связано с переходом к новым оптическим стандартам с использованием более высоких частот колебаний, охлаждению атомов эталона до сверхнизких температур посредством лазерного охлаждения.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему возникла необходимость перехода от материального эталона длины к оптическому?
2. За счет чего достигается стабильность атомных часов?
3. Дайте описание принципа лазерного охлаждения атомов.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков в области проектирования лазерных систем.

Практические занятия по дисциплине «Лазерные технологии и оборудование активного контроля изделий машиностроения» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, интересных фактов, статистических данных, связанных с изучаемой проблематикой практического занятия.

Тематический план практических (семинарских) (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Энергетические расчеты оптико-электронных приборов
2	Особенности габаритного расчета приемных оптических систем оптико-электронных приборов
3	Расчет и выбор динамических параметров оптико-электронных приборов
4	Точностные расчеты оптико-электронных приборов
5	Расчет тепловых режимов работы оптико-электронных приборов

Обучающийся должен подготовить по рассматриваемому занятию отчет, защитить его, ответив устно на вопросы преподавателя.

По результатам защиты отчета преподаватель выставляет экспертную оценку по четырехбалльной шкале – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка «отлично» ставится обучающемуся, владеющему системностью, обстоятельностью и глубиной излагаемого материала, способностью воспроизвести основные тезисы по теме практического занятия, готовому развернуто отвечать на вопросы преподавателя. Оценка «хорошо» ставится обучающемуся, обладающему глубиной и системностью излагаемого материала, но имеющему некоторые затруднения при ответе на вопросы. Оценка «удовлетворительно» ставится обучающемуся, имеющему недостатки информации по теме практического занятия, имеющему затруднения при ответе на вопросы преподавателя. Оценка

«неудовлетворительно» ставится обучающемуся, не обладающему информацией по теме практического занятия, неспособному ответить на вопросы преподавателя.

2.1 Практическое занятие на тему «Энергетические расчеты оптико-электронных приборов»

Цель занятия – получение практических умений и навыков определения соотношений между полезным сигналом и шумами (помехами) и нахождение на основе этих соотношений важнейших параметров ОЭП.

Задание на практическое занятие

1. Составление рабочего (основного энергетического) уравнения или неравенства, устанавливающего в общем виде связь между полезным сигналом, помехами и шумами и являющегося обобщенным описанием алгоритма работы ОЭП с учетом особенностей структуры ОЭП и критерия качества его работы.

2. Представление входящих в это уравнение значений полезного сигнала, шумов и помех в виде функций параметров и характеристик излучателя, передающей системы, наблюдаемого объекта, среды распространения оптического сигнала, приемной системы.

3. Решение полученного в развернутой форме рабочего уравнения относительно одного или совокупности нескольких параметров, входящих в него конструктивных параметров, или заданного критерия качества (выходного параметра ОЭП).

4. Выбор и расчет остальных параметров и проведение проверочного расчета, имеющего целью проверку выполнения условия, сформулированного или заданного на первом этапе расчета.

Вопросы для самоконтроля:

1. Основное энергетическое уравнение.
2. Структура оптико-электронных приборов (ОЭП)?
3. Учет помех и шумов в уравнениях обобщенного описания алгоритма работы ОЭП.
4. Проверочный расчет для уравнения обобщенного описания алгоритма работы ОЭП.

2.2 Практическое занятие на тему «Особенности габаритного расчета приемных оптических систем оптико-электронных приборов»

Цель занятия – получение практических умений и навыков получения исходных данных для проведения габаритных расчетов оптической системы прибора.

Задание на практическое занятие

1. Изучить способ расчета минимального значения диаметра входного зрачка ОЭП.
2. Изучить способ расчета увеличения конденсатора.
3. Изучить способ расчета угла охвата конденсатора в пространстве изображения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Схема приемной оптической системы с приемником излучения.
2. Фокусное расстояние конденсатора.
3. Угол охвата конденсатора.

2.3. Практическое занятие на тему «Расчет и выбор динамических параметров оптико-электронных приборов»

Цель занятия – получение практических умений и навыков выполнения расчетов и выбора динамических параметров оптико-электронных приборов.

Задание на практическое занятие

1. Сравнительная оценка и выбор вида модуляции оптического сигнала.
2. Выбор рабочих частот модуляции.
3. Выбор и расчет полосы пропускания электронного тракта.

Вопросы для самоконтроля:

1. Частота сигналов управления в оптико-электронных следящих системах.
2. Частота сканирования просматриваемого поля.
3. Частота модуляции полезного сигнала.
4. Полоса пропускания электронного тракта
5. Рабочие частоты модуляции.
6. Полоса пропускания электронного тракта.
7. Эквивалентная шумовая полоса пропускания.

2.4. Практическое занятие на тему «Точностные расчеты оптико-электронных приборов»

Цель занятия – получение практических умений и навыков выполнения проектных (точностный синтез) и проверочных (точностный анализ) расчетов ОЭП и их отдельных узлов.

Задание на практическое занятие

1. Расчет и минимизация динамической и шумовой погрешностей.
2. Расчет инструментальных погрешностей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Рациональная структура ОЭП.
2. Алгоритм точностного расчета.
3. Спектральная плотность динамической погрешности воспроизведения.
4. Структурная схема ОЭП автоматического слежения (сопровождения) по углу.
5. Структурные схемы ОЭП автоматического сопровождения по дальности.
6. Инструментальная погрешность.

2.5. Практическое занятие на тему «Расчет тепловых режимов работы оптико-электронных приборов»

Цель занятия – получение практических умений и навыков выполнения расчетов тепловых режимов работы оптико-электронных приборов.

Задание на практическое занятие

1. Выполнить анализ тепловой модели прибора.
2. Выполнить анализ теплообмена в отдельных узлах и элементах прибора.

Вопросы для самоконтроля:

1. Радиус кривизны оптических поверхностей.
2. Показатели преломления деталей.
3. Толщина воздушных промежутков.
4. Тепловой поток для двух тел, имеющих различную температуру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазеры: применения и приложения: учеб. пособие / А. С. Борейшо, В. А. Борейшо, И. М. Евдокимов, С. В. Ивакин. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 520 с.
2. Бокшанский, В. Б. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие / В. Б. Бокшанский, Д. А. Бондаренко, М. В. Вязовых [и др.] / под ред. В. Е. Карасика. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.
3. Сборник «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха – 50 лет». – Москва: Техносфера, 2012.
4. Garry Berkovic and Ehud Shafir, «Optical methods for distance and displacement measurements». Adv. Opt. Photon. 4, 441-471. 2012.
5. Матвеев, В. В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов. – Санкт-Петербург: ЦНИИ «Электроприбор», 2008.
6. George Heritage, Andy Large. Laser Scanning for the Environmental Sciences. John Wiley&Sons, 6 мая 2009 г.
7. Weitkamp, 2005. Lidar: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Springer, Berlin.
8. Michel Jaboyedoff et al. Use of LIDAR in landslide investigations: a review. Nat Hazards (2012) 61: 5–28.
9. Payne, E. M. (2013). Imaging Techniques in Conservation. Journal of Conservation and Museum Studies. 10(2).
10. Публикации компаний RIEGL (www.riegl.ru) и Renishaw (www.renishaw.com).
11. Матвеев, В. В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов. – Санкт-Петербург: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 114 с.
12. Juang, J.-N. Radharamanan, R. “Evaluation of Ring Laser and Fiber Optic Gyroscope Technology” Proc. American Society for Engineering Education, Middle Atlantic Section ASEE Mid-Atlantic Fall 2009.
13. Балыкин, В. И. Атомная оптика и ее приложения / В. И. Балыкин // Вестник РАН. – 2011. – Т. 81, № 4. – С. 291–315.
14. Глобальные горизонты /Развитие глобальной науки и технологий/: Итоговый доклад ВВС США, Релиз SAF/PA №2013-0434: пер. с англ. – Санкт-Петербург: НПП «Лазерные системы», 2013.
15. Poli N., Oates C.W., Gill P., Tino G.M. Optical atomic clocks. Nuovo Cimento. 2013, pp. 555-624.

Локальный электронный методический материал

Антон Геннадьевич Кисель

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ
ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 1,3. Печ. л. 1,1

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1