

## Оценочные материалы при формировании рабочих программ дисциплин (модулей)

**Направление подготовки / специальность:** Фотоника и оптоинформатика

**Профиль / специализация:** Физика и техника оптической связи

**Дисциплина:** Лазерные технологии

**Формируемые компетенции:** УК-4 УК-6  
ПК-1 ПК-3

### 1. Описание показателей, критериев и шкал оценивания компетенций.

Показатели и критерии оценивания компетенций

Объект оценки	Уровни сформированности компетенций	Критерий оценивания результатов обучения
Обучающийся	Низкий уровень Пороговый уровень Повышенный уровень	Уровень результатов обучения не ниже порогового

Шкалы оценивания компетенций при сдаче экзамена или зачета с оценкой

Достигнутый уровень результата обучения	Характеристика уровня сформированности компетенций	Шкала оценивания Экзамен или зачет с оценкой
Низкий уровень	Обучающийся: -обнаружил пробелы в знаниях основного учебно-программного материала; -допустил принципиальные ошибки в выполнении заданий, предусмотренных программой; -не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании программы без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	Неудовлетворительно
Пороговый уровень	Обучающийся: -обнаружил знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебной и предстоящей профессиональной деятельности; -справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой; -знаком с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; -допустил неточности в ответе на вопросы и при выполнении заданий по учебно-программному материалу, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Удовлетворительно
Повышенный уровень	Обучающийся: - обнаружил полное знание учебно-программного материала; -успешно выполнил задания, предусмотренные программой; -усвоил основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; -показал систематический характер знаний учебно-программного материала; -способен к самостоятельному пополнению знаний по учебно-программному материалу и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности	Хорошо
Высокий уровень	Обучающийся: -обнаружил всесторонние, систематические и глубокие знания учебно-программного материала; -умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой; -ознакомился с дополнительной литературой; -усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплин и их значение для приобретения профессии; -проявил творческие способности в понимании учебно-программного материала.	Отлично

Описание шкал оценивания

Компетенции обучающегося оцениваются следующим образом:

Планируемый уровень результатов освоения	Содержание шкалы оценивания достигнутого уровня результата обучения			
	Неудовлетворительно Не зачтено	Удовлетворительно Зачтено	Хорошо Зачтено	Отлично Зачтено
Знать	Неспособность обучающегося самостоятельно продемонстрировать наличие знаний при решении заданий, которые были представлены преподавателем вместе с образцом их решения.	Обучающийся способен самостоятельно продемонстрировать наличие знаний при решении заданий, которые были представлены преподавателем вместе с образцом их решения.	Обучающийся демонстрирует способность к самостоятельному применению знаний при решении заданий, аналогичных тем, которые представлял преподаватель, и при его консультативной поддержке в части современных проблем.	Обучающийся демонстрирует способность к самостоятельному применению знаний в выборе способа решения неизвестных или нестандартных заданий и при консультативной поддержке в части междисциплинарных связей.
Уметь	Отсутствие у обучающегося самостоятельности в применении умений по использованию методов освоения учебной дисциплины.	Обучающийся демонстрирует самостоятельность в применении умений решения учебных заданий в полном соответствии с образцом, данным преподавателем.	Обучающийся продемонстрирует самостоятельное применение умений решения заданий, аналогичных тем, которые представлял преподаватель, и при его консультативной поддержке в части современных проблем.	Обучающийся демонстрирует самостоятельное применение умений решения неизвестных или нестандартных заданий и при консультативной поддержке преподавателя в части междисциплинарных связей.
Владеть	Неспособность самостоятельно проявить навык решения поставленной задачи по стандартному образцу повторно.	Обучающийся демонстрирует самостоятельность в применении навыка по заданиям, решение которых было показано преподавателем	Обучающийся демонстрирует самостоятельное применение навыка решения заданий, аналогичных тем, которые представлял преподаватель, и при его консультативной поддержке в части современных проблем.	Обучающийся демонстрирует самостоятельное применение навыка решения неизвестных или нестандартных заданий и при консультативной поддержке преподавателя в части междисциплинарных связей

**2. Перечень вопросов и задач к экзаменам, зачетам, курсовому проектированию, лабораторным**

## занятиям.

### Примерный перечень вопросов к зачету

Компетенция -УК-4; УК-6:

Основные области применения лазеров.

1. Перспективные применения лазеров.
2. Лазерные технологии в производстве мобильных телефонов и персональных компьютеров.
3. Лазерные технологии дифракционных оптических элементов (ДОЭ), оптической памяти – CD-ROM, CD-RW и др.
4. Лазерное микроструктурирование поверхностей.
5. Лазерное сверление микроотверстий в алмазных фильерах для волочения проволоки.
6. Примеры лазерной микрообработки.
7. Лазерная полировка оптических поверхностей.
8. Лазерная очистка поверхности.
9. Трехмерный лазерный синтез объектов и изображений.
10. Космические применения лазеров.
11. Дистанционное лазерное зондирование космических объектов.

Компетенция ПК-1; ПК-3:

1. Лазерная реактивная тяга – атмосферные и внеатмосферные двигатели.
2. Лазерное противоракетное оружие.
3. Основные области применения лазеров в медицине.
4. Преодоление дифракционного предела в оптике.
5. Основные физические процессы лазерных технологий.
6. Поглощение света и преобразование энергии света в тепло.
7. Двумерная двухфазная (ДД) модель лазерной обработки.
8. Давление отдачи при испарении. Уравнение Клаузиуса–Клапейрона.
9. Характеристики «качества» излучения технологических лазеров: когерентность, монохроматичность, поляризация. Эксплуатационные характеристики.
10. Характерные параметры технологических лазеров.
11. Технологические лазеры и лазерные технологии.
12. Дiodные лазеры и информационные технологии.

Примерные практические задачи (задания) и ситуации

Компетенция УК-4; УК-6:

1. Определить радиус области, в которой сосредоточено 50%, 90% всей энергии гауссова пучка, если задан характерный размер гауссова распределения  $r$ .
2. Рассчитать параметры механического прерывателя, представляющий собой вращающийся диск с прорезью (размеры прорези и угловую скорость вращения диска), если из импульса длительностью 100 мкс необходимо получить импульсы длительностью 40 мкс при частоте следования импульсов 250 Гц.
3. Доказать, что при угле падения, равном углу Брюстера, угол между отраженным и преломленным лучами равен  $\pi/2$ .
4. Определить мощность и энергию импульсов излучения  $N_2$ -лазера длительностью  $\tau=10^{-8}$  с, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе  $q_0=10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см.
5. Определить, во сколько раз изменится диаметр пучка в фокусе линзы, если перед ней поставить телескопическую систему с увеличением  $b^x$ .
6. Определить плотность мощности лазерного излучения на обрабатываемой поверхности в центре облученной области, если известна мощность излучения  $P$  и распределение плотности мощности излучения  
а) гауссово  $q = q_0 e^{-(r/r_0)^2}$ ,  
б) постоянное в пределах облученной области  $q = \begin{cases} q_0 \text{ при } r \leq r_0, \\ q \text{ при } r > r_0. \end{cases}$
7. Определить, какая доля лазерного излучения находится внутри круговой области  $r \leq r_0$ , где  $r$  – характерный размер гауссова распределения плотности мощности излучения в пучке  $q = q_0 e^{-(r/r_0)^2}$ .
8. Определить радиус области, в которой сосредоточено 50%, 90% всей энергии гауссова пучка, если задан характерный размер гауссова распределения  $r_0$ .
9. Рассчитать параметры механического обтюратора, представляющего собой вращающийся диск с прорезью (размеры прорези и угловую скорость вращения диска), если из импульсов длительностью 100 мкс необходимо получить импульсы излучения длительностью 40 мкс при частоте следования импульсов 250 Гц.
10. Определить распределение интенсивностей в многолучевой лазерной системе для случайного и постоянного сдвига фаз  $\varphi$  излучения отдельных лазеров, если излучение каждого из них поляризовано в одной и той же плоскости и колебания их электрического поля описываются формулой  $E_i = E_{0i} \cos(\omega t + \varphi_i)$ . При решении задачи принять во внимание, что амплитуда суммы двух колебаний с амплитудами  $E_{01}$  и  $E_{02}$ , фазами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  и одинаковой частотой равна  $E_{0\Sigma} = \sqrt{E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$ .

11. Определить теоретическую дифракционную расходимость излучения различных лазеров, считая распределение интенсивности равномерным в пределах заданного диаметра пучка для Cu, Nd:YAG, N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>-лазеров и гауссовым для He-Ne лазера, по следующим данным:

а) Nd:YAG	$\lambda=1,06$ мкм	$D = 5$ мм;
б) He-Ne	$\lambda=0,63$ мкм	$D = 0,3$ мм;
в) Cu	$\lambda=0,5$ мкм	$D = 3$ мм;
г) N <sub>2</sub>	$\lambda=0,34$ мкм	$D = 0,3$ мм;
д) CO <sub>2</sub>	$\lambda=10,6$ мкм	$D = 5$ мм,

где  $\lambda$  – длина волны излучения,  $D$  – диаметр лазерного пучка на выходе лазера. Решение оформить в виде таблицы.

12. Определить расходимость излучения многомодового лазера в зависимости от числа генерируемых поперечных мод.

13. Доказать, что при угле падения, равном углу Брюстера, угол между отраженным и преломленным лучами равен  $\pi/2$ .

14. Показать, какой режим, импульсный или непрерывный, более эффективен для лазерной обработки.

15. Рассмотреть различные методы обеспечения импульсного режима воздействия (режимы свободной генерации, модуляции добротности и синхронизации мод) и сравнить их по следующим параметрам: КПД, энергия импульса, длительность импульса, средняя и импульсная мощность, частота следования импульсов.

16. Построить ход лучей лазерного пучка через линзу с фокусным расстоянием  $f$ . Определить зависимость диаметра пятна в фокусе  $d_0$  от расходимости лазерного излучения  $\theta$  и фокусного расстояния линзы  $f$ .

17. Рассчитать оптическую проекционную схему с телескопической осветительной системой, с параметрами  $d_{обр} = 1$  мм,  $d_{пр} = 50$  мм,  $d_{обро} = 10$  мкм,  $f_{пр} = 50$  мм,  $d_l = 1$  см,  $\beta_{пр} = 1/20$ . Увеличение телескопа произвольно, материал маски – медная фольга толщиной 0,1 мм, материал образца – пленка хрома толщиной 0,1 мкм на стекле.

18. Рассчитать длину  $l_0$  и диаметр  $d_0$  световой трубки, образующейся при фокусировке пучка лазерного излучения диаметром  $D_0$  и расходимостью  $\theta$  линзой с фокусным расстоянием  $f$ .

19. Вывести формулу для геометрической глубины резкости при фокусировке лазерного излучения.

20. Рассчитать пространственно геометрические характеристики лазерных пучков (одномодового, многомодового, дифракционно-ограниченного и теоретические): угол расходимости, размер фокального пятна и глубину резкости.

21. Рассчитать оптическую систему энергетического фокусирующего канала для лазера на аргоне:  $\lambda = 514$  нм, диаметр пучка на выходе лазера 1,5 мм на уровне  $1/e$ , расходимость пучка 0,5 мрад, если излучение должно быть сфокусировано в вакуумированной кювете длиной 30 мм в пятно диаметром 1,2 мкм.

22. Изобразить принципиальные схемы лазерных установок с плоттером и координатным столом. Указать условия постоянства плотности мощности излучения в системе с плоттером.

23. Определить размеры рабочего поля в сканирующей системе по значениям допустимых отклонений  $\Delta d = 200$  мкм размера фокального пятна  $d = 50$  мкм в плоскости обработки для Nd:YAG-лазера. Фокусное расстояние оптической системы 60 см, расстояние от центра зеркала до обрабатываемой поверхности – 50 см.

24. Привести габаритный и энергетический расчет проекционной схемы с осветительной телескопической системой.

25. Определить теоретический предел максимального и минимального масштаба проекции при телецентрическом освещении маски.

26. Дать размерные и энергетические характеристики микропроекционной оптической схемы. Сравнить с условиями обработки в схеме без осветительной системы, без проекционной системы.

27. Проанализировать возможность минимизации размеров контурнопроекционной схемы (за счет передвигания лазера), для чего построить ход лучей в оптической системе с лазером, расположенным в передней фокальной плоскости осветительной системы, до и после нее.

28. Провести габаритный расчет оптической системы для фокусировки излучения от оптического многомодового волокна с внутренним диаметром 400 мкм в пятно диаметром 200 мкм. Угол расходимости излучения 0,1 рад, расстояние от торца волокна до плоскости обработки 10 см.

29. Провести габаритный расчет оптической системы для фокусировки излучения ( $\lambda = 1,06$  мкм) от оптического волокна с внутренним диаметром 500 мкм со значением инварианта Лагранжа-Гельмгольца  $0,21 \cdot 10^{-6}$  м·рад в пятно размером  $d_0 = 100$  мкм.

30. Определить, какое смещение маски вдоль оптической оси необходимо обеспечить в проекционной схеме с «дрожащей» маской для получения на образце рельефа высотой  $\Delta_0 = 1$  мкм.

31. В проекционной схеме с использованием полутонной маски (с переменным пропусканием) определить зависимость профиля обрабатываемой поверхности от пропускания маски, приняв скорость испарения равной

$$V = \frac{q}{L_{исп}} \quad (q - \text{плотность мощности излучения, } L_{исп} - \text{удельная теплота испарения материала, Дж/см}^3).$$

маску для заданной точности формирования профиля поверхности  $\Delta = 1$  мкм при длительности импульса излучения  $\tau = 10^{-9}$  с, максимальном значении плотности мощности излучения на поверхности образца  $q_{max} = 10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>. Определить количество импульсов, необходимое для получения профиля высотой 10 мкм.

32. Рассчитать оптическую систему для ввода излучения Nd:YAG-лазера с расходимостью  $10'$  и диаметром пучка 5 мм в одномодовое оптическое волокно с числовой апертурой 0,22.

33. Предложить схему, осуществляющую проекционный метод лазерной обработки со сканированием пучка по маске, разрешающий противоречие между разрешающей способностью и полем изображения. Сравнить с базовым проекционным методом (одновременная засветка всей поверхности маски). Провести габаритный и энергетический расчет при соотношении диаметра пучка на поверхности маски и размера максимальной прорези

маски 1:20.

Компетенция ПК-1; ПК-3:

34. Рассчитать длину  $l_0$  и диаметр  $d_0$  световой трубки, образующейся при фокусировке пучка лазерного излучения диаметром  $D_0$  и расходимостью  $\Theta$  линзой с фокусным расстоянием  $f$ .

35. Провести габаритный расчет оптической системы для фокусировки излучения от оптического многомодового волокна с внутренним диаметром 400 мкм в пятно диаметром 200 мкм. Угол расходимости излучения 0,1 рад, расстояние от торца волокна до плоскости обработки 10 см.

36. Оценить скорость испарения материала (скорость роста глубины отверстия) в стали, вольфраме при поглощенной плотности мощности излучения  $q=10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

37. Оценить плотности мощности лазерного излучения, необходимые для нагревания алюминия, меди, вольфрама, железа до температур плавления и температур кипения излучением лазера с длиной волны  $\lambda=1,06$  мкм при длительностях импульса излучения  $\tau=10^{-3}$  с и  $\tau=10^{-7}$  с.

38. Определить диапазон скоростей сканирования  $V_{ск}$  пучка излучения непрерывного лазера при фокусировке его излучения в пятно диаметром 100 мкм, при которых время эффективного воздействия находится в диапазоне  $10^{-3} - 10^{-9}$  с.

39. Оценить плотности мощности лазерного излучения  $q_0$ , необходимые для окисления поверхностей хрома, никеля, висмута, ванадия, меди:

а) импульсным лазерным излучением на длине волны 1,06 мкм;

б) непрерывным излучением Nd:YAG-лазера;

в) непрерывным и импульсным ( $\tau = 1$  мкс) излучением CO<sub>2</sub>-лазера при размере области облучения  $r_0 = 500$  мкм.

40. Сделать выводы о термохимической чувствительности этих металлов на длине волны  $\lambda = 1,06$  мкм при длительности импульса 1 мкс.

41. Определить длительности воздействия, необходимые для испарения керамики, стекла, пластмассы следующими источниками излучения:

а) непрерывным излучением CO<sub>2</sub>-лазера мощностью  $P = 100$  Вт при радиусе облученной области  $r_0 = 30$  мкм;

б) непрерывным излучением Nd:YAG-лазера мощностью  $P = 100$  Вт при  $r_0 = 1$  мм.

42. Определить, произойдет ли локальное испарение поверхности вольфрама при фокусировании на ней пучка непрерывного Nd:YAG-лазера мощностью 100 Вт (фокусное расстояние оптической системы  $f = 5$  см) при расходимости пучка:

а)  $\theta = 2$  мрад;

б)  $\theta = 20$  мрад.

43. Обосновать применение CO<sub>2</sub>-лазера для обработки Al, Cu (сильное отражение). Рассчитать пороговые плотности мощности по двум схемам: 1) испарение металла, 2) окисление и испарение металла.

44. Определить зависимость размера зоны теплового воздействия на поверхности объекта от скорости сканирования излучения непрерывного лазера. Построить график этой зависимости.

45. Рассчитать температуру поверхности облучаемого тела в центре облученной области при изменяющейся во времени плотности мощности излучения, приняв аппроксимацию

$$q(t) = q \left( 1 - \left( \frac{t}{\tau} \right)^n \right), \text{ если } T = \frac{A\sqrt{a}}{k} \int_0^{\tau} \frac{q(t)}{\sqrt{\tau-t}} dt + T_H.$$

46. Найти давление отдачи при лазерном испарении железа, если скорость его удаления 1 м/с, а скорость пара у поверхности 1 км/с.

47. Определить давление отдачи, действующее на стальную мишень при испарении слоя 10 мкм импульсом лазерного излучения длительностью  $10^{-7}$  с, если скорость вылета паров 1 км/с.

48. Определить связь импульса отдачи, возникающего при испарении материала с помощью лазерного излучения, и давления отдачи с плотностью мощности.

49. По формуле Френкеля найти максимальное значение  $dV/dT$  и определить его величину применительно к конкретным процессам испарения, окисления, диффузии.

50. Выявить связь между градиентом температуры  $\frac{\partial T}{\partial x}$  и темпом нагревания  $\frac{\partial T}{\partial t}$  металла на поверхности

в центре облученной области радиусом 100 мкм, если максимальная температура нагревания  $T_{max} = 1000$  0С для случаев воздействия излучения:

а) эксимерного ArF-лазера,  $\tau = 1$  нс;

б) Nd:YAG-лазера,  $\tau = 100$  нс;

в) Nd:YAG-лазера,  $\tau = 1$  мс;

г) непрерывного CO<sub>2</sub>-лазера,  $\tau = 1$  с.

51. Пользуясь геометрической моделью, найти максимально возможное отношение глубины отверстия к его диаметру.

52. Определить максимальную скорость резки  $V_{max}$  медной фольги толщиной  $h = 0,1$  мм:

а) непрерывным излучением Nd:YAG-лазера мощностью  $P = 500$  Вт при радиусе пятна  $r_0 = 50$  мкм;

б) импульсным излучением Nd:YAG-лазера со средней мощностью  $P_{ср} = 500$  Вт,  $\tau = 10^{-7}$  с; частота следования импульсов  $f_i = 10$  кГц,  $r_0 = 50$  мкм, угол схождения излучения  $\gamma = 3^\circ$ .

53. Определить значения плотности мощности излучения, необходимые для получения отверстия в стали глубиной 1 мм ( $\tau = 10^{-3}$  с,  $\gamma = 0,2$  рад). Вывести зависимость поглощенной плотности мощности лазерного излучения от глубины отверстия.

54. Пользуясь законом сохранения импульса, оценить давление отдачи пара по известным экспериментальным значениям толщины испаренного слоя алюминия и длительности лазерного импульса. Построить зависимость толщины испаренного слоя от времени.
55. Определить зависимость глубины и радиуса отверстия от параметров обработки (энергии лазерного импульса, угла расхождения излучения после фокуса оптической системы) при  $h(t) \gg r_0$  и при  $h(t) \ll r_0$  по геометрической модели.
56. Оценить глубину отверстия, получаемую импульсом свободной генерации, игнорируя пиковую структуру, если  $\tau = 10^{-3}$  с,  $W = 10^{-2}$  Дж, диаметр пятна в фокусе 20 мкм. Определить перекрытие отверстий при скорости перемещения объекта  $V_{ск} = 0,1$  см/с, частоте следования импульсов  $f_i = 250$  Гц,  $\text{tg} \gamma = 0,4$ . Материал – железо.
57. Предложить оптико-механическую схему лазерного сверления отверстий диаметром от 10 до 200 мкм в фольге толщиной 100 мкм, если производительность лазера равна 600 отв/мин, фокусное расстояние оптической системы  $f = 50$  мм, материалы – сталь и медь.
58. Определить параметры оптической системы ( $\gamma$  и  $f$ ) для профильной резки медицинских стентов («протезов» кровеносных сосудов) – металлических трубок диаметром 1 и 2 мм с толщиной стенок 100 мкм, при которых исключаются повреждения противоположной стенки трубки, когда ее передняя поверхность испаряется.
59. Определить глубину отверстия  $h$ , его диаметр  $d$  и отношение  $h/d$  при многоимпульсной обработке, используя геометрическую модель образования отверстия.
60. Оценить параметры многоимпульсного режима обработки для получения в стали отверстий глубиной 1 мм и диаметром 100 мкм при скорости испарения  $V_i = 1$  км/с. Расчет провести для импульсов излучения длительностью 1 мс, 0,1 мкс, 10 нс.
61. Определить для указанных ниже материалов критерии быстро и медленно движущегося источника и пороговые плотности мощности излучения, необходимые для их резки при скоростях сканирования:  
1) бумага, 500 см/с; 2) фанера, 2 см/с; 3) стекло, 2,5 см/с; 4) сталь, 10 см/с; 5) резина, 2,5 см/с; 6) кожа, 28 см/с.
62. Размер облученной области для стали – 200 мкм, для остальных материалов – 500 мкм. Определить значения необходимой мощности излучения.
63. Найти пороги лазерной резки материалов непрерывным излучением CO и Nd:YAG-лазеров. Определить достижимые глубины резки при мощности излучения  $P_0 = 100$  Вт (Nd:YAG-лазер) и  $P_0 = 1000$  Вт (CO<sub>2</sub>-лазер). Найти максимальную скорость резки  $V_{max}$  пластины стали толщиной  $d = 1$  мм для этих же лазеров.
64. Сравнить пороги резки для импульсного и непрерывного Nd:YAG-лазера и скорости резки при толщине пластины  $d = 1$  мм и при одной и той же средней мощности  $P = 500$  Вт.
65. Проанализировать возможность использования полупроводникового лазера (мощность 100 мВт, расходимость  $250 \times 150$  мрад) для резки бумаги.
66. Рассчитать изменение параметров установки при использовании оптической системы с автоподстройкой фокуса при заданной глубине и диаметре отверстий.
67. Определить максимальную допустимую скорость сканирования лазерного пучка при лазерной гравировке испарением поверхности хрома излучением непрерывного Nd:YAG-лазера мощностью 100 Вт при радиусе пятна облученной области  $r_0 = 0,3$  мм. Оценить скорости сканирования, необходимые для удаления слоя хрома толщиной 10 мкм и 100 мкм.
68. Определить скорость движения частиц от поверхности детали при ее сухой лазерной очистке, предполагая, что частицы имеют сферическую форму и слабую адгезию к поверхности, распределение температуры в них равномерное, а теплоотвод из частиц в деталь пренебрежимо мал. Определить мощность излучения лазера при длительности импульса 10 нс, необходимую для достижения частицами меди скорости 0,1 м/с при размере облученной области 1 см<sup>2</sup>. Поглощательную способность частиц принять равной 0,1.
69. Определить мощность лазерного излучения, необходимую для испарения смазочного масла с поверхности стального рельса при воздействии излучения волоконного лазера (длина волны 0,53 мкм) и CO<sub>2</sub>-лазера, работающих в непрерывном режиме при сканировании со скоростью 1 м/с и диаметре лазерного пятна на поверхности рельса 5 мм. Толщина пленки масла на поверхности рельса 0,1 мм, температуру испарения масла принять равной 400 °С, удельную теплоту испарения – 190 кДж/кг. Оптимизировать схему сканирования и рассчитать скорость движения вагонетки при ширине рельса 73 мм.
70. Проанализировать возможности уменьшения шероховатости поверхности боросиликатного стекла (температура испарения  $T_i = 1200$  °С) с  $RzH = 100$  мкм до  $Rz = 50$  мкм обработкой его сходящимся пучком импульсного CO<sub>2</sub>-лазера с длительностью импульса 10 мкс и мощностью 60 Вт и оптической системы с фокусным расстоянием 2 см при диаметре пучка на выходе оптической системы 25 мм. Определить расстояние от поверхности положения средней линии профиля обрабатываемой поверхности до фокальной плоскости оптической системы.
71. Сформулировать критерии и выбрать оптимальные лазеры для микроструктурирования поверхностей материалов: металла (стали), стекла, кремния, керамики (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
72. Определить длину волны лазерного излучения для осуществления сквозной аморфизации стеклокерамической пластины (марки СТ-50) толщиной 0,5 мм, если она уже аморфизована на глубину 0,3 мм от поверхности пластины.
73. Сравнить два способа аморфизации стеклокерамической пластины (марки СТ-50) толщиной 0,5 мм с использованием излучения Nd:YAG и CO<sub>2</sub>-лазеров для случая, когда необходимо осуществить аморфизацию на глубину 0,3 мм. Выбрать оптимальный способ.
74. Определить геометрическую форму кривой поверхности в стекле в результате локального теплового расширения при нагревании: а) гауссовым пучком; б) пучком с равномерным распределением интенсивности; в) найти такую форму распределения мощности, чтобы образовался шаровой сегмент.
75. Рассчитать оптическую силу двойного элемента, полученного локальным спеканием пластины пористого стекла толщиной 2 мм при воздействии излучения CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия последовательно с обеих

сторон пластины для произвольных значений мощности излучения, длительности воздействия и диаметра облученной области.

76. Рассчитать взаимное расположение элементов в схеме ЛИПАА (LIPAA) при длине волны 0,248 мкм и фокусном расстоянии 50 мм. Произвести энергетический расчет для случая, когда мишень сделана из стали.

77. Торце волновода, передающий излучение лазера непрерывного действия мощностью 1 Вт, покрыт непрозрачной металлической насадкой и погружен в воду. Определить скорость образующихся на торце волновода пузырьков пара в момент их отрыва, частоту генерации пузырьков и расстояние между ними, если известно, что диаметр пузырьков в момент отрыва составляет 3 мм.

78. Определить, через какое время с начала воздействия излучения Nd:YAG-лазера на боковую стенку (цилиндрической) бутылки пробка будет удалена из бутылки давлением паров, если известно, что энергия импульса 20 мДж, частота следования импульсов 4 кГц, содержимое бутылки представляет собой жидкость, преимущественно состоящую из воды (88,5%) и спирта (11,5%), объем воздушной части (в горлышке бутылки) составляет 20 мл, а пробка выдерживает избыточное давление 0,5 атм. Считать, что коэффициент отражения от поверхности составляет 0,5, а глубина проникновения излучения внутри бутылки – 2 см. Определить зависимость времени удаления пробки от объема воздушной части.

79. Определить диаметр и скорость вращения барабана (с киноплёнкой) высокоскоростной киносъёмочной камеры, призванной обеспечить скорость съёмки 1 млн кадров/с при высоте кадра 8 мм.

80. Определить окно «оптической» прозрачности земной атмосферы, используя формулу Вина, считая среднюю температуру земного шара по всем широтам и временам года равной 14 °С.

Примерный перечень вопросов к защите РГР

Компетенция УК-4; УК-6:

1. Вывести формулу для геометрической глубины резкости при фокусировке лазерного излучения.
2. Рассчитать пространственно геометрические характеристики лазерных пучков (одномодового, многомодового, дифракционно-ограниченного и теоретические): угол расходимости, размер фокального пятна и глубину резкости.
3. Изобразить принципиальные схемы лазерных установок с плоттером и координатным столом. Указать условия постоянства плотности мощности излучения в системе с плоттером.
4. Привести габаритный и энергетический расчет проекционной схемы с осветительной телескопической системой.
5. Определить теоретический предел максимального и минимального масштаба проекции при телецентрическом освещении маски.
6. Дать размерные и энергетические характеристики микропроекционной оптической схемы. Сравнить с условиями обработки в схеме без осветительной системы, без проекционной системы.
7. Проанализировать возможность минимизации размеров контурнопроекционной схемы (за счет передвижения лазера), для чего построить ход лучей в оптической системе с лазером, расположенным в передней фокальной плоскости осветительной системы, до и после нее.
8. Обосновать применение CO<sub>2</sub>-лазера для обработки Al, Cu (сильное отражение). Рассчитать пороговые плотности мощности по двум схемам: 1) испарение металла, 2) окисление и испарение металла.
9. Определить зависимость размера зоны теплового воздействия на поверхности объекта от скорости сканирования излучения непрерывного лазера. Построить график этой зависимости.
10. Определить связь импульса отдачи, возникающего при испарении материала с помощью лазерного излучения, и давления отдачи с плотностью мощности.
11. Пользуясь геометрической моделью, найти максимально возможное отношение глубины отверстия к его диаметру.
12. Пользуясь законом сохранения импульса, оценить давление отдачи пара по известным экспериментальным значениям толщины испаренного слоя алюминия и длительности лазерного импульса. Построить зависимость толщины испаренного слоя от времени.
13. Рассчитать изменение параметров установки при использовании оптической системы с автоподстройкой фокуса при заданной глубине и диаметре отверстий.
14. Определить окно «оптической» прозрачности земной атмосферы, используя формулу Вина, считая среднюю температуру земного шара по всем широтам и временам года равной 14 °С.
15. Как рассчитать плотность мощности излучения?
16. От чего зависит расходимость лазерного излучения?
17. Длина когерентности.
18. Время когерентности.
19. Монохроматичность излучения.

Компетенция ПК-1; ПК-3:

1. От чего зависит диаметр пучка в фокусе линзы?
2. Как определить мощность и энергию импульсов излучения?
3. Что такое плотность мощности лазерного излучения?
4. Что такое характерный размер гауссова распределения плотности мощности излучения в пучке?
5. Что такое механический обтюратор?

6. Назовите основные характеристики лазерного излучения.
7. Преимущества лазерного излучения.
8. Недостатки лазерного излучения.
9. Области применения лазерного излучения.
10. Типы лазеров.
11. Многомодовый лазер.
12. Одномодовый лазер.
13. Режимы работы лазера.
14. Перспективы применения лазеров.
15. Лазерное микроструктурирование поверхностей.
16. Лазерное сверление.
17. Лазерная пайка.
18. Лазерная микрообработка.

Образец экзаменационного билета для сдачи зачета

Дальневосточный государственный университет путей сообщения		
<p>Кафедра (к911) Физика и теоретическая механика ___ 20___/20___ семестр, учебный год</p>	<p>Экзаменационный билет № по дисциплине Лазерные технологии 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика Физика и техника оптической связи для направления подготовки / специальности</p>	<p>«Утверждаю» Зав. кафедрой Иванов В.И, д.физ.-мат. наук, профессор «___» _____ 20__ г.</p>
<p>1. Лазерное сверление микроотверстий в алмазных фильерах для волочения проволоки. (УК-4; УК-6).</p>		
<p>2. Технологические лазеры и лазерные технологии. (ПК-1; ПК-3;)</p>		
<p>3. Задача. По формуле Френкеля найти максимальное значение <math>dV/dT</math> и определить его величину применительно к конкретным процессам испарения, окисления, диффузии. (ПК-1; ПК-3).</p>		

Полный комплект тестовых заданий в корпоративной тестовой оболочке АСТ размещен на сервере УИТ ДВГУПС, а также на сайте Университета в разделе СДО ДВГУПС (образовательная среда в личном кабинете преподавателя).

Соответствие между балльной системой и системой оценивания по результатам тестирования устанавливается посредством следующей таблицы:

Объект оценки	Показатели оценивания результатов обучения	Оценка	Уровень результатов обучения
Обучающийся	60 баллов и менее	«Неудовлетворительно»	Низкий уровень
	74 – 61 баллов	«Удовлетворительно»	Пороговый уровень
	84 – 77 баллов	«Хорошо»	Повышенный уровень
	100 – 85 баллов	«Отлично»	Высокий уровень

#### 4. Оценка ответа обучающегося на вопросы, задачу (задание) экзаменационного билета, зачета, курсового проектирования.

Оценка ответа обучающегося на вопросы, задачу (задание) экзаменационного билета, зачета

Элементы оценивания	Содержание шкалы оценивания			
	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
	Не зачтено	Зачтено	Зачтено	Зачтено
Соответствие ответов формулировкам вопросов (заданий)	Полное несоответствие по всем вопросам	Значительные погрешности	Незначительные погрешности	Полное соответствие
Структура, последовательность и логика ответа. Умение четко, понятно, грамотно и свободно излагать свои мысли	Полное несоответствие критерию.	Значительное несоответствие критерию	Незначительное несоответствие критерию	Соответствие критерию при ответе на все вопросы.
Знание нормативных, правовых документов и специальной литературы	Полное незнание нормативной и правовой базы и специальной литературы	Имеют место существенные упущения (незнание большей части из документов и специальной литературы по названию, содержанию и т.д.).	Имеют место несущественные упущения и незнание отдельных (единичных) работ из числа обязательной литературы.	Полное соответствие данному критерию ответов на все вопросы.
Умение увязывать теорию с практикой, в том числе в области профессиональной работы	Умение связать теорию с практикой работы не проявляется.	Умение связать вопросы теории и практики проявляется редко	Умение связать вопросы теории и практики в основном проявляется.	Полное соответствие данному критерию. Способность интегрировать знания и привлекать сведения из различных научных сфер

<p>Качество ответов на дополнительные вопросы</p>	<p>На все дополнительные вопросы преподавателя даны неверные ответы.</p>	<p>Ответы на большую часть дополнительных вопросов преподавателя даны неверно.</p>	<p>1. Даны неполные ответы на дополнительные вопросы преподавателя. 2. Дан один неверный ответ на дополнительные вопросы преподавателя.</p>	<p>Даны верные ответы на все дополнительные вопросы преподавателя.</p>
---	--	--	---	--

Примечание: итоговая оценка формируется как средняя арифметическая результатов элементов оценивания.