

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.С. Гуц / Д.С. Гуц /
«10» марта 2023 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии

Красноярск 2023

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
2.5.8. «Сварка, родственные процессы и технологии»
по техническим наукам

Введение

Данная программа основана на дисциплинах, рассматривающих металлургические и физико-химические процессы в материалах при сварке, наплавке, пайке, нанесении покрытий, термической резке и других родственных процессах, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств: технологические основы сварки плавлением и давлением, а также компьютерное моделирование физических и технологических процессов при сварке, методы проектирования надежных сварных конструкций, технологии сварочного оборудования и оборудование для сварки, резки, пайки, наплавки, нанесения покрытий, склеивания; методы управления параметрами технологических процессов для обеспечения надлежащего качества сварных соединений.

1. Общие вопросы

История развития способов соединения материалов. Классификация, признаки классификации видов сварки и сущность основных сварочных процессов. Значение сварки, перспективы её развития.

Развитие сварочной науки в России, роль кадрового потенциала, их подготовки и аттестации. Организация и управление качеством сварочной продукции. Структура и организация учебно-научных и производственных организаций.

История развития сварки, работы Н.Г. Славянова, Н.Н. Бенардоса, Е.О. Патона, Б.Е. Патона, Г.А. Николаева. Российская школа сварки, принципы соединения научных и практических целей. Роль науки о сварке и сварочной технике в развитии производительных сил России.

Объем фундаментальных и прикладных знаний, необходимых для успешной работы в области сварки. Математические методы планирования эксперимента и обработка его результатов. Компьютерные технологии в сварке. Автоматизация эксперимента. Роботизация сварочных работ.

2. Теоретические основы сварки, наплавки и нанесения покрытий

Природа образования соединений при сварке.

Классификация процессов сварки. Источники энергии для сварки, их обобщённые характеристики.

Строение, виды и области применения электрической сварочной дуги.

Основные процессы в столбе дуги. Напряженность поля, плотность тока и концентрации мощности в столбе.

Влияние газовых потоков и пинч-эффекта на энергетические и технологические характеристики столба дуги.

Физические явления в приэлектродных областях дуги. Процессы, определяющие мощность и её концентрацию у электродов дуги. Закономерности плавления и испарения металлических электродов. Перенос металла в дуге.

Общие условия устойчивости электрической дуги. Саморегулирование дуги с плавящимся электродом. Действие магнитных полей на дугу, их использование для управления дугой и процессами сварки. Особенности дуг, питаемых переменным и импульсным токами.

Трехфазная дуга. Дуга под флюсом, дуга под водой. Сжатые дуги.

Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму ванны и размеры шва.

Лучевые источники нагрева, их виды, особенности и области применения.

Электронный луч, как источник энергии. Принцип сварки электронным лучом в вакууме.

Общие схемы формирования электронных пучков. Электронные пушки, их составные части и принципы действия.

Способы управления мощностью и ее концентрацией в электронных пучках. Управление положением пучков в пространстве. Процессы плавления металлов электронными пучками, КПД процессов.

Лазерный луч как источник нагрева при сварке, резке и термической обработке.

Физические процессы формирования излучения лазеров. Виды лазеров. Особенности газовых лазеров. Структурная схема СО₂-лазера. Процессы, ограничивающие мощность СО₂-лазеров и ее стабильность. Плавление металлов лазерным лучом.

Достижения и проблемы электронно-лучевой и лазерной сварки.

Электрошлаковый нагрев. Энергетические процессы в шлаковой и металлической ваннах. Условия устойчивости электрошлакового процесса, физико-химические процессы при электрошлаковой сварке.

Электроконтактный нагрев и плавление металлов. Физические процессы в сварочных контактах соединяемых заготовок.

Принципиальные схемы сварки взрывом. Условия образования соединений при сварке взрывом.

Физические процессы при диффузионной сварке. Механизм образования сварных соединений при диффузионной сварке.

Нагрев при трении. Процессы сварки трением.

Явления при холодной и ультразвуковой сварке.

Природа образования соединений при пайке.

Классификация технологических процессов нанесения защитных покрытий.

Основные процессы газопламенного и детонационного напыления. Физические особенности дуговой металлизации и плазменного напыления. Процессы вакуумных покрытий.

Научные основы анализа физико-химических процессов при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Первый закон термодинамики. Расчет параметров состояния систем при различных изопроцессах.

Второй закон термодинамики. Термодинамический потенциал, его использование в анализе процессов. Условия и характеристики равновесия в гомогенной среде. Определение химического сродства компонентов.

Третий закон термодинамики, его применение в анализе химического равновесия гетерогенных систем.

Основы неравновесной термодинамики.

Свариваемость материалов. Показатели свариваемости.

Металлургические процессы при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Взаимодействие металлов, шлаков и газов. Газы в сварных соединениях.

Основные характеристики тепловых процессов. Модели источников тепла, объектов сварки, наплавки. Дифференциальное уравнение теплопроводности, основные краевые условия, учитываемые при его решении.

Расчет температурных полей при нагреве тел движущимися сосредоточенными, точечными и линейными источниками тепла. Особенности нагрева пластин мощными быстро движущимися источниками. Методы расчета температурных полей при нагреве тел распределенными источниками. Вычисление скоростей охлаждения в различных точках тел, нагреваемых движущимися источниками.

Термические циклы при односторонней и многослойной сварке и наплавке. Плавление основного металла, длина жидкой ванны. Тепловая эффективность процессов сварки, наплавки и нанесения покрытий. Нагрев и плавление присадочных материалов.

Кристаллизация металла при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Природа химической и физической неоднородности соединений металлов.

Горячие трещины при сварке. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию горячих трещин. Способы предотвращения горячих трещин.

Особенности структуры зоны термического влияния в сварных соединениях. Фазовые и структурные превращения при сварке конструкционных сталей.

Природа холодных трещин. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию холодных трещин. Способы предотвращения холодных трещин.

Деформации и напряжения при неравномерном нагреве. Механизм возникновения напряженного состояния при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Приближенная теория сварочных деформаций и напряжений.

Методы математического и компьютерного моделирования процессов сварки, пайки, наплавки, напыления и резки.

3. Технология сварки, наплавки-нанесения покрытий, пайки и склеивания

Технология сварки, наплавки и нанесения покрытий плавлением

Классификация процессов сварки плавлением. Технология сварки и наплавки покрытыми электродами. Технология автоматической и механизированной сварки. Наплавка и нанесение покрытий.

Технология сварки низкоуглеродистых, низколегированных и среднелегированных конструкционных сталей. Технология сварки высоколегированных сталей и сплавов мартенситного, ферритного и аустенитного классов. Технология сварки разнородных сталей одного структурного класса и разных структурных классов. Технология сварки чугуна. Технология сварки меди и ее сплавов, алюминия, магния и их сплавов, никеля и его сплавов, титана и его сплавов. Особенности сварки тугоплавких и химически активных металлов.

Технология сварки разнородных металлов и сплавов. Особенности технологии и техники сварки стали с алюминием, медью, титаном и их сплавами. Влияние режимов сварки на форму и состав швов.

Технология наплавки. Формирование свойств наплавленного металла, метод его легирования.

Технология электрошлаковой сварки и наплавки конструкций из углеродистых и легированных сталей. Технология электрошлаковой сварки легких и цветных металлов и сплавов.

Особенности технологии лучевых методов сварки.

Дефекты сварных соединений. Поры в сварных швах. Неметаллические включения в швах. Прочие дефекты сварных соединений.

Технология контактной, холодной, ультразвуковой сварки, сварки взрывом и трением

Классификация способов контактной сварки. Условия формирования сварных соединений при точечной и шовной сварке. Особенности формирования соединений при стыковой сварке.

Выбор режимов и технология сварки конструкционных материалов при точечной и шовной сварке. Технология стыковой сварки.

Технология сварки токами высокой частоты.

Технология и области применения холодной сварки.

Технология и области применения ультразвуковой сварки.

Технология сварки взрывом крупногабаритных листов.

Технология сварки трением.

Технология сварки пластмасс.

Технология газопламенного и детонационного нанесения покрытий. Основные операции дуговой металлизации и плазменного напыления. Техника и технология вакуумных покрытий.

Технология пайки металлов

Пайка металлов. Теоретические основы пайки металлов. Сущность процесса пайки металлов. Физические процессы при пайке. Диффузионное и химическое взаимодействие припоя с паяемым металлом. Способы удаления поверхностных пленок и восстановление оксидов при пайке.

Припой. Классификация припоев по химическому составу, температуре плавления и механическим свойствам. Наиболее распространенные группы припоев.

Флюсы. Назначение, требования к флюсам. Виды флюсов и их классификация. Типы паяных соединений. Расчет прочности паяных соединений. Технология пайки различных металлов и сплавов. Методы контроля паяных соединений.

Технология склеивания металлов и пластмасс.

Современное представление о механизме процесса склеивания. Классификация клеев. Наиболее распространенные клеи на основе термореактивных и термопластичных полимеров. Преимущества и недостатки клеевых соединений. Основные операции технологического процесса склеивания металлов. Прочность соединений. Принципы конструирования клеевых конструкций. Клеесварные конструкции. Методы контроля клеевых соединений.

4. Сварные конструкции

Деформации и напряжения, вызываемые процессами сварки, наплавки и нанесения покрытий. Концентрация напряжений в сварных соединениях. Влияние дефектов на механические свойства сварных соединений и их работоспособность.

Остаточные напряжения в сварных соединениях. Деформации, напряжения и перемещения в элементах сварных конструкций, экспериментальные и расчетные методы их определения. Методы снижения напряжений и деформаций при сварке и наплавке.

Прочность сварных соединений при статических нагрузках. Прочность при переменных нагрузках. Причины хрупких разрушений сварных конструкций.

Принципы расчета и проектирования сварных соединений и конструкций. Применение компьютерной техники в расчетах и проектировании металлоконструкций. Влияние технологии изготовления балок на их несущую способность.

Напряженное состояние узлов ферм. Влияние технологии изготовления решетчатых конструкций на их служебные характеристики.

Напряжения и деформации в листовых конструкциях. Особенности конструкции котлов и сосудов, их напряженное состояние. Основы расчета и проектирования труб и трубопроводов. Требования и технологии изготовления емкостей и труб.

Специфика сварных деталей машин. Принципы проектирования сварных конструкций из цветных металлов и пластмасс.

Методы повышения прочности сварных конструкций при переменных нагрузках. Прочность сварных соединений при высоких и низких температурах.

Вероятностные методы оценки прочности сварных конструкций.

5. Механизация и автоматизация технологических операций сварки, наплавки и нанесения покрытий

Классификация процессов и операций сварки, наплавки и нанесения покрытий как объектов механизации и автоматизации. Схемы современных систем автоматизации дуговых методов сварки и наплавки.

Принципы автоматизации контактной сварки. Автоматические системы в электрошлаковой сварке и наплавке.

Принципы механизации и автоматизации заготовительных операций. Современные средства механизации и автоматизации транспортных операций. Схемы механизированных сборочно-сварочных поточных линий. Автоматические сборочно-сварочные линии.

Требования, предъявляемые к промышленным роботам для сварки, наплавки и нанесения покрытий. Типы промышленных роботов. Общие характеристики роботов и их основных блоков. Адаптивные роботы. Автоматические линии и участки роботов. Техно-экономическая эффективность применения роботов. Перспективы применения роботов в сварочном производстве.

Система автоматизированного проектирования технологии сварки (САПР ТС). Структура САПР. Программное обеспечение и аппаратные средства реализации. Выход окончательной продукции САПР.

6. Контроль качества сварки, наплавки и нанесения покрытий

Технологические и конструктивные методы повышения качества сварки, наплавки и нанесения покрытий, способы их обеспечения и контроля. Дефекты и уровни дефектности сварных соединений.

Классификация методов контроля качества сварки, наплавки и нанесения покрытий. Методы неразрушающего контроля качества металлов, швов, наплавов и покрытий.

Физические основы и разновидности магнитных и электромагнитных методов контроля, техника и технология их применения.

Основы и классификация радиационных методов контроля.

Источники рентгеновского и гамма-излучения, их конструкции, аппаратура и приспособления для управления. Радиографический контроль.

Методы дозиметрии и обеспечения безопасности.

Физические основы, классификация ультразвуковых методов контроля. Приборы и оптимальные параметры ультразвукового контроля. Технология ультразвукового контроля. методы измерения дефектов.

Принципы, классификация и технология капиллярных методов контроля.

Методы контроля непроницаемости.

Механические испытания качества сварки, наплавки и нанесения покрытий. Металлография, химический анализ и коррозионные испытания сварных соединений, наплавов и покрытий.

Средства механизации, автоматизации и обработки результатов контроля качества изделий.

Основные понятия о методах статистического управления качеством.

Вероятностные схемы-модели оценки качества сварки, наплавки и нанесения покрытий, статистическое регулирование качества.

Методы организации и управления качеством технологических сварочных процессов.

Примечания:

Соискатель должен показать на экзамене профессиональные знания по соответствующим разделам науки, владение теоретическим аппаратом и современными методами расчета и исследований.

Дополнительная программа должна включать в себя новые разделы данной отрасли науки, например, аддитивные технологии, и разделы, связанные с направлением исследования соискателя, а также учитывать достижения в данной отрасли науки и новейшую литературу. Дополнительную программу разрабатывает и утверждает организация, в которой принимается экзамен.

Основная литература

1. Черепяхин А. А. Основы сварочного производства и теория сварочных процессов. (Бакалавриат, Специалитет). Учебное пособие. /А. А. Черепяхин, В. И. Криворотов, Г. Р. Латыпова, Р. А. Латыпов, С. Д. Ворончук. - М.: КНОРУС, 2023. - 491 стр.
2. Основы сварочного производства: учебник / С. В. Михайлицын, М. А. Шекшеев. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 260 с.
3. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов / А.В. Люшинский. - М.: Академия, 2019. - 208 с.
4. Овчинников В.В. Оборудование, техника и технология сварки и резки металлов / В.В. Овчинников. - М.: КНОРУС, 2020. - 649 с.
5. Овчинников В.В. Основы теории сварки и резки металлов / В.В. Овчинников. - М.: КНОРУС, 2017. - 248 с.
6. Горбач В.Д. Автоматическая дуговая сварка с ЧПУ судовых конструкций / В.Д. Горбач, В.С. Головченко. - М.: Судостроение, 2020. - 344 с.
7. Руссо В.Л. Дуговая сварка в инертных газах / В.Л. Руссо. - М.: Судостроение, 2017. - 120 с.
8. Антонов В.П. Диффузионная сварка материалов / В.П. Антонов, В.А. Бачин, Г.В. Загорин, и др. - М.: Машиностроение, 2016. - 271 с.
9. Моисеенко В.П. Материалы и их поведение при сварке / В.П. Моисеенко. - М.: Феникс, 2016. - 304 с.
10. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки / В.С. Виноградов. - М.: Академия, 2017. - 319 с.
11. Чернышов Г.Г. Основы теории сварки и термической резки металлов / Г.Г. Чернышов. - М.: Академия, 2016. - 208 с.
12. ГОСТ. Сварка, пайка и термическая резка металлов. Сборник гостов. Часть 1. - М.: Стандарты, 2018. - 288 с.
13. Кочергин К.А. Контактная сварка / К.А. Кочергин. - М.: Главная редакция литературы по машиностроению и металлообработке, 2015. - 104 с.
14. Шебеко Л.П. Оборудование и технология дуговой автоматической и механической сварки / Л.П. Шебеко. - М.: Высшая школа, 2019. - 279 с.
15. Общемашиностроительные нормативы времени на контактную сварку. - М.: Экономика, 2018. - 322 с.
16. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на ручную дуговую сварку. - М.: Экономика, 2015. - 143 с.
17. Алешин Н.П. Сварка. Резка. Контроль. Справочник, 2004.
18. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов: Учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 2001.
19. Рукоуев. А. П. Материаловедение: Учеб. пособие/ А. П. Рукоуев; КГТУ. - Красноярск, 2002. - 439 с.
20. Чуларис А.А. Расчет и проектирование оборудования по контактной сварке, Уч. Пос.// Ростов на Дону, Феникс, 2003 - 162 с.
21. Милютин В.С., М.П. Шалимов, СМ. Шанчуров. Источники питания для сварки — М.: Айрис-пресс, 2007. — 384 с. (Высшее образование).
22. АА. Чуларис, ДВ. Рогозин Технология сварки давлением // Ростов на Дону, Феникс, 2006. - 221
23. С.Н. Козловский. Введение в сварочные технологии: Учебное пособие. П СПб.: Издательство «Лань», 2011. - 416 с.
24. Материаловедение и технология металлов: учебник для студентов вузов / Г. П. Фетисов [и др.]; ред. Г. П. Фетисов. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа- 2005. - 862 с.

25. Петецкий В. Н. Квазистационарные движущиеся источники теплоты: учеб. пособие / В. Н. Петецкий; Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. - 178 с.
26. Петецкий В. Н. Основы теплофизики при стационарных и движущихся источниках теплоты: метод. указ. к выполнению лаб. работ; В. Н. Петецкий, С. А. Готовко; Краснояр. гос. техн. ун-т, - Красноярск: ИПЦ КГТУ. 2004. - с.
26. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов / ХИ. Акулов, В.П. Алехин, СИ. Ермаков и др.; Под ред. А.И. Акулов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Машиностроение, 2003. - 558 с.
32. Сварочные материалы для ремонта и наплавки: Справочник: Пер. с англ. Минск: Издатель В. М. Скакун, 2001.- 123 с
33. Маслов В. И.. Сварочные работы: учебник / В. И. Маслов. 2-е изд., стер. - М.: ПрофОбрИздат, 2002. - 235 с.
34. Сварка трубопроводов: Учеб. пособие / Ф.М. Мустафин, НГ. Блехерова, О П. Квятковский и др. - м.: Недра, 2002. - 347 с.
35. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций: учеб. пособие / С. А. Куркин [и др.] ; ред.: С. А. Куркин, В. М. Ховов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 460 с.
36. Сварка [Электронный ресурс]: сб. стандартов ГОСТ И ГОСТ Р. _ Электрон. дан. - М.: Стандартиформ, 2007. - I эл. опт. диск (CD-ROM).
37. Сварка в СССР. Т. 2. Теоретические основы сварки, прочности и проектирования. М.: Наука, 1982. Справочник Алёшина.
38. Сварка и свариваемые материалы: в 3 т. Т. 1. Свариваемость материалов: Справ. изд.: Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Металлургия, 1991.
39. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981.
40. Зуев И.В. Обработка материалов концентрированными потоками энергии. М.: издательство МЭИ, 1998.
41. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки: Учебник для вузов /В.А. Бачин. В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников и др.; под ред. В.А. Бачина. М.: Машиностроение, 1991.
57. Козловский С.Н. Введение в сварочные технологии. Сварка плавлением. контактная сварка и сварка давлением: Учеб. пособие. /Красноярск: СибГАУ. 2010. - 132 с.
58. Березиенко В.П., Мельников С.Ф., Фурманов С.М. Технология сварки давлением: Учеб. пособие // Могилев: Белорус. - Рос. Ун-т, 2009 — 256 с
59. Алиферов А., Луи С. Электроконтактный нагрев металлов: Монография. Новосибирск: изд - во НГТУ, 2004. - 224 с. - (Серия «Монографии НГТУ»)
60. Фролов В. А. Специальные методы сварки и пайки: Учебник для ср. спец. учеб. зав. [В. В. Пешков и др.; М.: Интермент Инжиниринг, 2003. - 184 с. : ил.

Паспорт научной специальности 2.5.8. «Сварка, родственные процессы и технологии»

Область науки: 2. Технические науки

Группа научных специальностей: 2.5. Машиностроение

Наименование отрасли науки, по которой присуждаются учёные степени: Технические

Шифр научной специальности: 2.5.8. Сварка, родственные процессы и технологии
Направления исследований:

1. Физико-химические процессы в источниках энергии для сварки и родственных технологий.
2. Металлургические процессы в сварочной ванне, кристаллизация сварных швов.
3. Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств.
4. Технологические основы сварки и родственных процессов.
5. Напряжения и деформации изделий при сварке и родственных процессах.
6. Системы стабилизации, программного управления и регулирования параметров технологии сварки и родственных процессов.
7. Влияние конструктивных особенностей сварных соединений и технологии сварки на прочность, надёжность и ресурс сварных конструкций.
8. Оборудование для сварки и родственных процессов.
9. Материалы для сварки, родственных процессов и технологий 10. Сварочные, присадочные, электродные материалы, флюсы, газы и припои, для образования, защиты и металлургической обработки зоны соединения конструкционных и функциональных материалов с применением сварочных источников энергии.

Смежные специальности (в т.ч. в рамках группы научной специальности)

- 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы.
- 2.5.6. Технология машиностроения.
- 2.5.9. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.
- 2.5.19. Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства.
- 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы.

ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКЗАМЕНА

Приём экзамена осуществляется в сроки, установленные университетом и личного заявления поступающего. Экзамен проводится в письменной форме. Соискателю предлагается ответить на пять вопросов. По возможности направленность вопросов согласуется с учётом направления диссертационной работы. Для подготовки ответов на вопросы предоставляется 100-120 мин. Затем ответы оцениваются комиссией. При возникновении разногласий проводится устное собеседование по заданным вопросам. В этом случае может быть задано 3-10 вопросов. Окончательная оценка определяется как среднеарифметическое значение оценок членов комиссии.

Критерии оценивания ответов

Максимальная оценка по каждому вопросу оцениваются по 20 баллов. Максимальная сумма баллов – 100.

Вопросы по всем разделам оцениваются по 4 показателям:

1. Полнота ответа.
2. Ответы на дополнительные вопросы.
3. Способность самостоятельно анализировать информацию.
4. Логика изложения материала.

Показатели и критерии оценивания приведены в таблице.

Таблица – Показатели и критерии оценивания ответов на вопросы

Показатель

1 Полнота ответа

Критерии оценивания

Выставляется балл, соответствующий одному из критериев:

5 баллов – развёрнутый и полный ответ на вопрос;
4 балла – правильный ответ на вопрос с неточностями в изложении отдельных положений;
3 балла – в целом правильный ответ на вопрос, но с ошибками в изложении отдельных положений;
2 балла – ответ содержит грубые ошибки;
0 баллов – в ответе не содержатся сведения по существу вопроса;

2 Ответы на дополнительные вопросы

Задаются 3 дополнительных вопроса, предполагающих короткие ответы. Выставляется балл, соответствующий одному из критериев:

5 баллов – даны верные ответы на все вопросы;
4 балла – даны верные ответы на 2 вопроса;
2 балла – дан верный ответ на 1 вопрос
0 баллов – нет ответов.

3 Способность самостоятельно анализировать информацию

Общий балл при оценке складывается из следующих критериев:

- наличие примеров с расчётами и графиками – 2 балла;
- выводы обоснованы – 2 балла;
- использование дополнительной технической литературы – 1 балл;

4 Логика изложения материала

Общий балл при оценке складывается из следующих критериев:

- наличие плана ответа – 2 балла;
- выдерживание причинно-следственной связи – 2 балла;
- формулировка выводов изложенного – 1 балл.

Разработчики:

1.  (Довженко Николай Николаевич, д.т.н., профессор кафедры машиностроения)

2.  Демченко Александр Игоревич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой машиностроения)