



Министерство науки  
и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
Институт дистанционного  
и дополнительного образования



УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ИДДО

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шиндина Т.А.
	Идентификатор	Rd0ad64b2-5hindaTA-e12224c9

(подпись)

Т.А. Шиндина  
(расшифровка подписи)

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
*повышения квалификации*

Наименование программы	Специалист по работе на электронно-лучевых комплексах
Форма обучения	очная
Выдаваемый документ	удостоверение о повышении квалификации
Новая квалификация	не присваивается
Центр ДО	Кафедра "Технологии металлов"

Зам. директора ИДДО

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Усманова Н.В.
	Идентификатор	R3b653adc-UsmanovaNatV-90b3fa4

Н.В.  
Усманова

Начальник ОДПО

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крохин А.Г.
	Идентификатор	R6d4610d5-KrokhinAG-aa301f84

А.Г. Крохин

Начальник ФДО

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Малич Н.В.
	Идентификатор	R13696f6e-MalichNV-45fe3095

Н.В. Малич

Руководитель ТМ

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гончаров А.Л.
	Идентификатор	R1e4b7e3c-GoncharovAL-b043abe

А.Л.  
Гончаров

Руководитель образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Демидов А.Н.
	Идентификатор	Ra48fa5e5-DemidovAN-e3f185d8

А.Н.  
Демидов

Москва



## **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ**

**Цель:** повышение квалификации путем формирования у слушателей профессиональных компетенция, необходимых для профессиональной деятельности в области электронно-лучевой обработки материалов.

**Программа составлена в соответствии:**

- с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование, утвержденным приказом Минобрнауки от 09.08.2021 г. № 72807.09.2021 г. № 64910.

**Форма реализации:** обучение с применением дистанционных образовательных технологий.

**Форма обучения:** очная.

**Режим занятий:**

Расписание занятий по дополнительной образовательной программе может устанавливаться в зависимости от набора в группы. Конкретные даты проведения занятий указываются в договоре на оказание образовательных услуг. Данные расписания хранятся в электронной системе учета хода реализации программы. При любом графике занятий учебная нагрузка устанавливается не более 40 часов в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы слушателя.

**Требования к уровню подготовки слушателя, необходимые для освоения программы:** желательно иметь стаж работы (не менее 1 года), связанной с машиностроительным производством в должности инженера, инженера-технолога, инженера-механика, инженера-метролога, инженера-наладчика, электромеханика, и т.п..

**Выдаваемый документ:** при успешном прохождении программы и сдаче итоговой аттестации выдается удостоверение о повышении квалификации установленного образца.

**Срок действия итоговых документов**

Срок действия итоговых документов регламентируется на основе правил по работе с персоналом в сфере деятельности данной программы, устанавливается на основе содержания программы и составляет (в годах): 3.

## 2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

### 2.1. Компетенции

В результате освоения дополнительной образовательной программы слушатель должен обладать компетенциями (табл. 1).

Таблица 1

Компетентностно-ориентированные требования к результатам освоения программы

Компетенция	Требования к результатам
ОПК-11: Способен применять методы контроля качества технологических машин и оборудования, проводить анализ причин нарушений их работоспособности и разрабатывать мероприятия по их предупреждению	Знать: - основные процессы, протекающие при сварке (резке) с использованием КПЭ (лазерный луч); - основные процессы, протекающие при сварке с использованием КПЭ (электронный луч).
	Уметь: - анализировать влияние основных процессов, протекающих при воздействии электронного луча на обрабатываемый материал;; - вносить необходимые корректировки параметров режима сварки (резки) с учетом влияния основных процессов, протекающих в металле при сварке (резке) с использованием КПЭ, для получения качественного сварного соединения (реза)..
	Владеть:
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Знать: - основные методики расчета температурных полей при воздействии сварочных источников тепла и методики расчета параметров сварочного термического цикла при однопроходной сварке;; - основные параметры режима сварки (резки) с использованием КПЭ (электронный и лазерный луч) и влияние, оказываемое на процесс сварки (резания) при их изменении..
	Уметь: - рассчитывать температурные поля при воздействии сварочных источников тепла и параметры сварочного термического цикла при однопроходной сварке;; - оценивать эффективность процесса проплавления металла при сварке и при необходимости давать рекомендации по ее повышению.
	Владеть:

В результате освоения программы слушатель должен быть способен реализовывать трудовые функции в соответствии с профессиональным стандартом (табл. 2).

Уровень квалификации \_\_\_\_\_.

Таблица 2

Практико-ориентированные требования к результатам освоения программы	
Трудовые функции	Требования к результатам

## 2.2. Характеристика нового вида профессиональной деятельности, новой квалификации

Не предусмотрено

## 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ (РАБОЧИЕ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИН (МОДУЛЕЙ))

### 3.1. Трудоемкость программы

Трудоемкость программы включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы составляет:

- 2 зачетных единиц;

72 ак. ч.

Структура программы с указанием наименования дисциплин (модулей) и их трудоемкости представлена в табл. 3.

Учебный план дополнительной образовательной программы представлен в приложение А., являющийся неотъемлемой частью программы.

Таблица 3

Структура программы и формы аттестации

№	Наименование дисциплин (модулей)	всего	Контактная работа, ак. ч					Самостоятельная работа, ак. ч	Стажировка, ак. ч	Форма аттестации			
			всего	аудиторные занятия	электронное обучение	обучение с ДОТ	контроль			текущий контроль (тест, опрос и пр.)	промежуточная аттестация (зачет, экзамен, защита отчета о стажировке)	итоговая аттестация (итоговый зачет, итоговый экзамен, доклад по результатам стажировки, итоговый аттестационный экзамен, итоговая аттестационная работа)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	
1	Специалист по работе на электронно-лучевых комплексах	70	58	46		12		12			Нет		
1.1.	КПЭ и физические основы их генерации	8	8	4		4							
1.2.	Теоретические основы обработки материалов КПЭ	8	8	4		4							
1.3.	Оборудование для	1	8	6		2		2					

	электронно-лучевой сварки	0									
1.4.	Физические процессы в металлах при обработке КПЭ	1 2	10	8		2		2			
1.5.	Технология обработки материалов КПЭ	2 0	16	16				4			
1.6.	Контроль и автоматизация электронно-лучевых технологических установок	1 2	8	8				4			
2	Итоговая аттестация	2	2			0	2				Итоговый зачет
	<b>ИТОГО:</b>	<b>7 2</b>	<b>60</b>	<b>46</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>0</b>		

### 3.2. Содержание программы (рабочие программы дисциплин (модулей))

Содержание дисциплин (модулей) представлено в табл. 4.

Таблица 4

Содержание дисциплин (модулей)

№	Наименование дисциплин (модулей)	Содержание дисциплин (модулей)
1.	Специалист по работе на электронно-лучевых комплексах	
1.1.	КПЭ и физические основы их генерации	Источники энергии термических процессов. Современное представление об источниках энергии при сварке и обработке материалов. Основные понятия и определения. Источники энергии для термических процессов. Сравнительная характеристика термических источников энергии. Электронная оптика. Электронно-лучевые источники энергии. Оптико-механическая аналогия. Движение электронов в электростатическом поле. Движение электронов в магнитном поле. Ускорение электронов. Электронно-лучевые источники энергии. Формирование электронного луча. Функциональная схема электронной пушки. Физические процессы, протекающие в пространстве дрейфа. Действие собственного пространственного заряда в электронных пучках. Изменение контура пучка введенного в эквипотенциальное пространство.
1.2.	Теоретические основы обработки материалов КПЭ	Концентрированные и неконцентрированные источники энергии. Основные закономерности взаимодействия концентрированных потоков энергии (электронный луч, луч лазера, струя низкотемпературной плазмы, сжатая

№	Наименование дисциплин (модулей)	Содержание дисциплин (модулей)
		<p>электрическая дуга, ионные пучки) с твердым телом при осуществлении процессов сварки, резки, сверления, модифицирования. Автоколебания температурного поля в зоне обработки КПЭ, динамика формирования глубокого канала в материале; физическое моделирование процесса нагрева твердого тела в автоколебательном режиме; схема типичной автоколебательной системы. Физические процессы при воздействии КПЭ на материалы. Гидродинамические процессы в зоне воздействия КПЭ на материалы. Закономерности сварки металлов больших толщин с глубоким проплавлением. Закономерности удаления вещества из зоны обработки при резке и сверлении материалов КПЭ, закономерности испарения и выброса конденсированной фазы из зоны обработки.</p>
1.3.	Оборудование для электронно-лучевой сварки	<p>Общая характеристика установки. Структура, состав и компоновка ЭЛУ. Генерация электронного пучка. Типовые конструкции катодов. Срок службы катодов. Траектория электронов в осесимметричном электрическом поле. Электронные линзы. Иммерсионный объектив. Типовые схемы генераторов электронных пучков. Методы расчета генераторов электронных пучков. Конструкции электронных пушек. Способы регулирования мощности электронного пучка. Фокусировка и отклонение пучка. Движение электронов в однородном и аксиальном магнитных полях. Магнитные линзы. Магнитные отклоняющие системы. Расчет магнитной линзы. Эксплуатация электронно-лучевого оборудования. Источники питания электронных пушек. Высоковольтные пробой. Системы автоматического управления процессом сварки. Основные понятия вакуумной техники. Простейшая вакуумная система. Основные характеристики вакуумных насосов. Объемная откачка. Конструкции объемных насосов. Молекулярные насосы. Турбомолекулярные насосы. Пароструйная откачка. Измерение общих давлений. Вакуумная арматура. Вакуумные вводы. Внутрикамерные манипуляторы. Типовые схемы вакуумных систем. Цикл вакуумной откачки. Выбор насосов для высоковакуумной системы. Проверочный расчет вакуумных систем.</p>
1.4.	Физические процессы в металлах при обработке	<p>Термодеформационные процессы при обработке КПЭ. Термодеформационные процессы в металлах,</p>

№	Наименование дисциплин (модулей)	Содержание дисциплин (модулей)
	КПЭ	<p>возникающие при воздействии на них источников теплоты. Изменение прочности материалов в области высоких температур. Остаточные напряжения, возникающие при сварке материалов, не испытывающих полиморфных превращений</p> <p>Взаимодействие обрабатываемого материала с окружающей средой. Обозначения, основные определения и законы. Кипение расплавов при сварке. Испарение. Испарение элементов из бинарных сплавов. Активность и летучесть. Испарение элементов из многокомпонентных сплавов. Порядок расчета состава пара над жидким сплавом. Диффузионные процессы в зоне обработки и их влияние на свойства сварных соединений. Шлаковая фаза. Свойства и состав шлаков. Взаимодействие материала с кислородом, азотом, водородом, сложными газами в процессе обработки КПЭ. Сварочная ванна, кристаллизация металла при сварке и формирование первичной структуры металла шва. Особенности кристаллизации металла сварочной ванны. Схемы кристаллизации сварочной ванны. Влияние режимов сварки и условий кристаллизации на формирование первичной структуры и образование химической неоднородности металла шва. Закономерности образования горячих трещин. Способы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин. Фазовые и структурные превращения в металлах при обработке КПЭ. Стабильность размеров и формы сварных конструкций. Особенности фазовых и структурных превращений в металле сварных соединений. Причины образования трещин на этапе структурных и фазовых превращений (холодные трещины, трещины повторного нагрева и др). Способы повышения сопротивляемости сварных соединений образованию холодных трещин. Размерная нестабильность сварных конструкций. Методы стабилизации структуры, формы и размеров сварных конструкций</p>
1.5.	Технология обработки материалов КПЭ	<p>Формирование сварных соединений. Свариваемость и ее критерии. Свариваемость металлов и сплавов на их основе. Формирование сварочной ванны и влияние условий сварки на геометрию и размеры шва. Виды сварных соединений и подготовка кромок под сварку. Металлургия сварки сплавов на основе титана.</p>

№	Наименование дисциплин (модулей)	Содержание дисциплин (модулей)
		Технология электронно-лучевой обработки материалов. Сварка вертикальным и горизонтальным электронным лучом. Виды сварных соединений. Технологические схемы сварки электронным лучом. Отклонение и сканирование луча. Разработка технологии и расчетные модели для определения параметров режима электронно-лучевой сварки.
1.6.	Контроль и автоматизация электронно-лучевых технологических установок	Электронно-лучевые установки (ЭЛУ) как объекты управления. Источники анодного питания, защита от перенапряжений и технологических коротких замыканий. Управление мощностью электронного пучка, отклонением и разверткой в ЭЛУ различного назначения (плавильных, для сварки и размерной обработки). Комплексное управление ЭЛУ с применением компьютерных и микро-процессорных средств. Задачи и алгоритмы управления сварочными, плавильными и испарительными ЭЛУ.

Аннотации рабочих программ дисциплин (модулей) представлены в приложении Б.

#### 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Информация о практической подготовке в структуре дополнительной образовательной программы представлена в приложение В.

В рамках учебного плана дополнительной образовательной программы используются традиционные образовательные технологии, а также интерактивные технологии, представленные в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика образовательной технологии

Наименование	Краткая характеристика
Проблемная лекция	Обучение работы на ЭЛУ

#### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

##### 5.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится в соответствии с характеристиками контрольных заданий и представлен в Таблице 1 приложения Г.

## **5.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по программе проводится в форме зачета, экзамена или отчета о стажировке в соответствии с учебным планом. Характеристика заданий представлена в Таблице 2 приложения Г.

## **5.3. Итоговая аттестация**

Итоговая аттестация по программе проводится в форме *итогового зачета*. Характеристика заданий представлена Таблице 3 приложения Г.

## **5.4. Независимый контроль качества обучения**

Порядок независимой оценки качества дополнительной образовательной программы представлен в приложении Г.

# **6. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

## **6.1. Учебно-методическое и информационное обеспечение**

а) литература НТБ МЭИ:

1. Аддитивные технологии в производстве металлических конструкций : учебник по курсам "Аддитивные технологии в современном производстве" (направление 13.04.03 "Энергетическое машиностроение"); "Аддитивные технологии" (направление 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника"); "Плазменные, электронно-лучевые и лазерные установки" (направление 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника") и др. / А. В. Щербаков, Д. А. Гапонова, А. П. Слива, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") ; ред. А. Г. Григорьянц, В. К. Драгунов . – Москва : Изд-во МЭИ, 2022 . – 676 с. - Авторы указаны на обороте тит. л. - ISBN 978-5-7046-2493-6 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=11936>;

2. Драгунов, В. К. Термоэлектрические и электромагнитные процессы при сварке разнородных металлов : учебное пособие по курсу "Сварные комбинированные конструкции" по направлению "Энергетическое машиностроение" / В. К. Драгунов, А. Л. Гончаров, А. П. Слива, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 104 с. - ISBN 978-5-7046-2227-7 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10927>;

3. Тепловые процессы обработки материалов концентрированными потоками энергии : учебное пособие по курсу "Теоретические основы сварки плавлением" по направлениям подготовки бакалавров 13.03.03 "Энергетическое машиностроение" и 15.03.01 "Машиностроение" / Р. В. Родякина, А. В. Щербаков, Д. А. Гапонова, М. А. Каримбеков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 136 с. - ISBN 978-5-7046-2198-0 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10976>.

б) литература ЭБС и БД:

1. Беленький В. Я., Саломатова Е. С., Ольшанская Т. В., Федосеева Е. М., Трушников Д. Н., Белинин Д. С. - "Электронно-лучевая обработка в сварке", Издательство: "ПНИПУ", Пермь, 2021 - (77 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/239915>.

в) используемые ЭБС:

*Не предусмотрено*

## **6.2. Кадровое обеспечение**

Для реализации дополнительной образовательной программы привлекаются преподаватели из числа штатных научно-педагогических работников ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» и лица, представители работодателей или объединений работодателей. Информация о кадровом обеспечении дополнительной образовательной программы представлена в приложении Д.

Сведения о руководителе дополнительной образовательной программы представлены в приложении Е.

## **6.3. Финансовое обеспечение**

План расходов и расчет обоснования стоимости по дополнительной образовательной программе представлены в приложении Ж.

Финансирование программы осуществляется за счет личных средств слушателей или заказчиков, по направлению которых проводится обучение. В качестве заказчика могут выступать работодатели, университеты (в том числе МЭИ), государственные структуры и прочие участники образовательного рынка.

## **6.4. Материально-техническое обеспечение**

Материально-технические условия реализации дополнительной образовательной программы представлены в Приложении З.

Календарный график учебного процесса разрабатывается с учетом требований к качеству освоения и по запросам обучающихся (Приложение И). Расписание занятий разрабатывается на каждую реализуемую программу.

## **ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ (АКТУАЛИЗАЦИИ)**

№ п/п	Содержание изменения (актуализации)	Дата утверждения изменений
1	Программа утверждена	25.01.2023

Руководитель  
образовательной  
программы

	
Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
Владелец	Демидов А.Н.
Идентификатор	Ra48fa5e5-DemidovAN-e3f185d8

А.Н.  
Демидов