## УТВЕРЖДАЮ

Союз молодых инженеров

Е.А. Мирошниченко

1. **Паспорт Образовательной программы**

**«** Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Квантовые технологии **»**

|  |  |
| --- | --- |
| **Версия программы** | **1** |
| **Дата Версии** | **08.**10**.**2020 |

1. **Сведения о Провайдере**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1.1 | Провайдер | Союз инженеров для подготовки инженерно-управленческих кадров промышленного комплекса «Союз молодых инженеров» |
| 1.2 | Логотип образовательной организации | СМИР_лого |
| 1.3 | Провайдер ИНН | 7718264820 |
| 1.4 | Ответственный за программу ФИО | Волощенко Анна Александровна |
| 1.5 | Ответственный должность | Заместитель Председателя |
| 1.6 | Ответственный Телефон | +7(903)282-74-30 |
| 1.7 | Ответственный Е-mail | anna@soyuzmir.ru |

1. **Основные Данные**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№** | **Название** | **Описание** |
| 2.1 | Название программы | Дополнительная профессиональная программа  повышения квалификации «Квантовые технологии» |
| 2.2 | Ссылка на страницу программы | http://engineering-education.ru |
| 2.3 | Формат обучения | Онлайн |
|  | Подтверждение от ОО наличия возможности реализации образовательной программы с применением электронного обучения и (или) дистанционных образовательных технологий с возможностью передачи данных в форме элементов цифрового следа | Подтверждаю наличие системы дистанционного обучения и электронной цифровой подписи |
| 2.4 | Уровень сложности | Базовый |
| 2.5 | Количество академических часов | **72** |
|  | Практикоориентированный характер образовательной программы: не менее 50 % трудоёмкости учебной деятельности отведено практическим занятиям и (или) выполнению практических заданий в режиме самостоятельной работы (кол-во академических часов) | 36 |
| 2.6 | Стоимость обучения одного обучающегося по образовательной программе, а также предоставление ссылок на 3 (три) аналогичные образовательные программы иных организаций, осуществляющих обучение, для оценки объективности стоимости или обоснование уникальности представленной образовательной программы в случае отсутствия аналогичных образовательных программ на рынке образовательных услуг | 30000 / Курс уникален большим объемом практической работы, результаты которой можно будет применять в реальной управленческой практикой / Похожие программы: https://openedu.ru/course/msu/QUANTUMTECH/ ; https://skillcare.ru/course/Квантовые-технологии/6 ; https://quantum.msu.ru/ru/education/msc-programs/quantum-optical-technologies |
| 2.7 | Минимальное количество человек на курсе | 100 |
| 2.8 | Максимальное количество человек на курсе | 2000 |
| 2.9 | Данные о количестве слушателей, ранее успешно прошедших обучение по образовательной программе | Нет |
| 2.10 | Формы аттестации | Зачет |
|  | Указание на область реализации компетенций цифровой экономики, к которой в большей степени относится образовательная программа, в соответствии с Перечнем областей | Квантовые технологии |

1. **Аннотация программы**

Наиболее полное и содержательное описание программы, которое включает:

1) общую характеристику компетенций, качественное изменение которых осуществляется в результате обучения или которые формируются в результате освоения образовательной программы;

2) описание требований и рекомендаций для обучения по образовательной программе;

3) краткое описание результатов обучения в свободной форме, а также описание востребованности результатов обучения в профессиональной деятельности.

Ограничение по размеру: не менее 1000 символов

Учебный курс посвящен быстро развивающейся междисциплинарной области науки и техники, объединяющей в себе перспективные методы вычислений, коммуникаций, сенсорики, хранения информации, новые материалы и средства измерения. Практические применения квантовых технологий способны обеспечить кардинальные изменения в инфраструктуре информационно-коммуникационной сферы, в научных исследованиях и во многих отраслях экономики. Развитие квантовых технологий является одним из стратегических приоритетов в США, Китае, ЕС и в России. В программе учебного курса рассматривается состав и прикладные аспекты квантовых технологий, дается обзор лидирующих научных организаций и стратегических планов основных международных альянсов, активно развивающих квантовые технологии. В процессе реализации программы используются лекции с элементами дискуссии, работа в малых группах, методы и приемы командно-ориентированного обучения. Курс может быть полезен руководителям, специалистам научно-технологического и инженерно-технического профиля в качестве системного обзора современного состояния и перспектив развития квантовых технологий. .

Союз инженеров для подготовки инженерно-управленческих кадров промышленного комплекса «Союз молодых инженеров»

|  |  |
| --- | --- |
| СОГЛАСОВАНО АНО «Парадигма»  М.А. Тихонов | УТВЕРЖДАЮ Союз молодых инженеров  Е.А. Мирошниченко |

**Дополнительная профессиональная программа**

**повышения квалификации**

**«Квантовые технологии»**

**(72 часа)**

Авторы:

Кушнер А. В.

Юрин И. Ф.

**Москва, 2020**

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ**

**1.Цель программы**

К основным целям освоения курса «квантовые технологии» относятся: 1) формирование знаний об основных тенденциях в области современных технологических решений с использованием квантовых технологий; 2) совершенствование профессиональных компетенций слушателей в области технологии командно-ориентированного обучения; 3) подготовка слушателей к профессиональному применению информации о современном состоянии и перспективных направления развития квантовых технологий в сфере организационно-управленческой, научно-исследовательской деятельности в организациях науки, институтах развития, технологических компаниях и на предприятиях.

**Совершенствуемые компетенции**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Компетенция | Направление подготовки  03.04.02 Высшее образование. Физика |
| Код компетенции |
| 1. | Способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе, в поиске научно-технических заделов и организации перспективных исследований и разработок. | ОПК-6 |
| 2. | Способностью свободно владеть общей информацией о составе и назначении различных элементов квантовых технологий, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности | ПК-2 |
| 3. | Способностью принимать участие в разработке дорожных карт развития технологий, новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности применительно к поиску идей и выбору вариантов развития квантовых технологий, технических систем и комплексных решений на их основе | ПК-3 |

Программа разработана в соответствии с профессиональным стандартом «Управляющие в корпоративном секторе и в других организациях», «Руководители подразделений в сфере производства и специализированных сервисных услуг». Планируемые результаты обучения по дополнительной профессиональной программе соответствуют выполняемым трудовым действиям:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обобщенные трудовые функции | Трудовые функции, реализуемые после обучения | Код | Трудовые действия |
| Код 12  Управление в корпоративном секторе и в других организациях | Планирование, организация, направление, контроль и координация финансовых, административных, человеческих ресурсов, политики планирования, исследования и разработки. | 12 | Разработка и консультирование по вопросам управления, стратегического и финансового планирования;  Разработка и руководство осуществлением оперативных и административных процедур;  Реализация, мониторинг и оценка результатов; Направление развития инициатив на создание новых продуктов, проведение маркетинга, осуществление связей с общественностью и рекламных кампаний. |
| Код 13  Руководство подразделениями в сфере производства и специализированных сервисных услуг | Планирование, управление и координация производства товаров и предоставления специализированных и технических услуг | 13 | Детальное планирование деятельности, касающейся выпуска продукции, предоставляемых услуг, качества;  Установление регламентов и определение задач;  Контроль работы оборудования и технологических процессов;  Обеспечение качества товаров и услуг;  Разработка и управление бюджетами, контроль затрат и корректировка мероприятий |

2. Планируемые результаты обучения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Знать / Уметь | Направление подготовки  03.04.02 Высшее образование. Физика |
| Код компетенции |
| 1. | Знать: Основные современные  проблемы и новейшие достижения квантовых технологий, современное состояние и перспективы развития квантовых технологий.  Уметь: Применять полученные знания  для решения поставленных актуальных  задач в своей научно-исследовательской  работе, в анализе современной научно-технической информации, в поиске научно-технических заделов и планировании перспективных исследований и разработок. | ОПК-6 |
| 2. | Знать: Основы квантовых технологий, состав и назначение различных элементов квантовых технологий, владеть терминологией и определением основных понятий в сфере квантовых технологий  Уметь: Применять на практике теоретические знания для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности | ПК-2 |
| 3. | Знать: Современные подходы к разработке дорожных карт развития квантовых технологий и современные подходы к выбору приоритетных направлений создания перспективных технических решений на основе квантовых технологий  Уметь: собирать и анализировать информацию о проектах разработки квантовых технологий, систематизировать и расставлять приоритеты различных инновационных проектов, разрабатывать дорожные карты научно-инновационных исследований и инженерно-технологической деятельности применительно к поиску идей и выбору вариантов развития квантовых технологий, технических систем и комплексных решений на их основе | ПК-3 |

**3.Категория слушателей**

* 1. Образование - высшее или среднее профессиональное
  2. Квалификация - не требуется
  3. Наличие опыта профессиональной деятельности - не обязательно
  4. Предварительное освоение иных дисциплин/курсов /модулей - не требуется

**4.Учебный план программы «Квантовые технологии»**

| №  п/п | Наименование учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), вида аттестации | Аудиторные учебные занятия, учебные работы | | | Внеаудиторная работа | Формы аттестации, контроля | Трудоемкость |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Всего ауд.,  час. | Лекции | Практ. занятия | Сам. работа |  |  |
| **1.** | Модуль 1. Базовые понятия квантовых технологий | 18 | 18 | - | 18 |  | 36 |
| 1.1. | Квантовые технологии – развивающаяся область науки и техники. | 2 | 2 | - | - | Входное тестирование. | 2 |
| 1.2. | Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире. Нормативно-правовая база в сфере квантовых технологий. | 2 | 2 | - | 8 | Практическая работа 1 | 10 |
| 1.3. | Основные составляющие квантовых технологий | 2 | 2 | - | 10 | Практическая работа 2 | 12 |
| 1.4. | Различные направления исследований и подходы к реализации квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.5. | Квантовые коммуникации | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.6. | Квантовые вычисления | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.7. | Квантовые сенсоры | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 1.8. | Квантовая память | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 1.9. | Новые материалы для квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.10. | Технологическое, инструментальное и метрологическое обеспечение квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2. | Модуль 2. Прикладные аспекты квантовых технологий | 18 | 18 | - | 18 |  | 36 |
| 2.1. | Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий | 2 | 2 | - | 8 | Практическая работа 3 | 10 |
| 2.2. | Зарубежные научные и производственные организации, работающие в сфере квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.3. | Развитие квантовых технологий в странах ОЭСР | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.4. | Развитие квантовых технологий в Китае | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.5. | Дорожные карты развития квантовых технологий в России | 2 | 2 | - | 10 | Практическая работа 4 | 12 |
| 2.6. | Научно-техническое прогнозирование и технологическое предвидение перспектив развития квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.7. | Международная конкуренция за формирование стандартов в сфере квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.8. | Перспективные направления поисковых исследований в сфере квантовых технологий | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 2.9. | Перспективные направления прикладных исследований и разработок в сфере квантовых технологий | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 2.10. | Квантовые технологии – перспективы, риски и возможности | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 3. | Итоговая аттестация[[1]](#footnote-1) |  |  |  |  | Выходное тестирование.  Зачет  (на сновании совокупности выполненных практических работ) |  |
|  | ИТОГО | 72 | 18 | 18 | 36 |  | 72 |
|  | Итоговая аттестация |  | Зачет | | | | |

Учебная программа

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Виды учебных занятий, учебных работ** | **Содержание** | **Планируемые результаты обучения**  **(Знать/Уметь)** |
| **1** | **2** | **3** | **4** |
| **Модуль 1. Базовые понятия квантовых технологий** | | | |
| Тема 1.1.  Квантовые технологии – развивающаяся область науки и техники | Лекция, 2 часа | Понятие квантовых технологий. Определение квантовых технологий. Состав квантовых технологий. Основные термины и определения в сфере квантовых технологий. Научные основы квантовых технологий. Прикладное значение различных составляющих квантовых технологий. История развития представлений о перспективных информационных и коммуникационных технологиях, технологиях сенсорики и метрологии, основанных на фундаментальных принципах квантовой механики. Коллективные квантовые явления. Индивидуальные квантовые системы. Возможные практические реализации: квантовые датчики, квантовая передача информации, квантовая память, квантовые вычисления. Перспективы и проблемы развития квантовых технологий. | **Знать**: определение основных понятий в сфере квантовых технологий  **Знать:** состав квантовых технологий на современном этапе развития науки и техники  **Знать:** возможные практические реализации квантовых технологий |
| Тема 1.2.  Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире. Нормативно-правовая база в сфере квантовых технологий. | Лекция, 2 часа | Стратегические направления развития фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в сфере квантовых технологий в различных странах и в крупных корпорациях. Стимулирование развития принципиально новых методов регистрации, вычисления и связи, хранения информации, базирующиеся на принципах квантовой механики. Поиск научных открытий и прорывных технических решений, формирующих новую область знаний, прикладных решений и новые рынки. | **Знать**: современные стратегии  и программы развития квантовых технологий государственного и корпоративного уровня  **Знать:** существующие нормативно-правовые основы квантовых технологий |
| Самостоятель-ная практическая работа, 8 часов | *Практическая работа № 1.*  Анализ государственных и корпоративных программы развития квантовых технологий в мире | **Уметь**: анализировать государственные и корпоративные программы в области квантовых технологий |
| Тема 1.3.  Основные составляющие квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Ландшафт квантовых технологий. Основные субтехнологии – квантовые вычисления, квантовые коммуникации, квантовые сенсоры, квантовая метрология, квантовая память. Критические технологии, необходимые для практической реализации квантовых технологий. | **Знать:** ландшафт квантовых технологий на современном уровне развития науки и техники  **Знать:** основные области практического применения субтехнологий, входящих в состав квантовых технологий |
| Самостоятель-ная практическая работа, 10 часов | *Практическая работа № 2.*  Описание основных компонентов квантовых технологий | **Уметь**: определять, анализировать и описывать составляющие квантовых технологий |
| Тема 1.4.  Различные направления исследований и подходы к реализации квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Проблемы перехода от управлении коллективными квантовыми явлениями к управлению сложными квантовыми системами на уровне, атомов, фотонов, наночастиц. Современные нанотехнологии и различные технические решения на основе нанотехнологий. Современные научно-технологические платформы для реализации квантовых вычислений: 1) сверхпроводящие цепочки; 2) нейтральные атомы; 3) ионы в ловушках. Квантовые симуляторы. Современные научно-технологические платформы для реализации квантовых коммуникаций: А) решениях точка–точка; Б) сети с доверенным узлом. | **Знать:** современные научно-технологические платформы для реализации квантовых вычислений  **Знать:** современные научно-технологические платформы для реализации квантовых коммуникаций |
| Тема 1.5.  Квантовые коммуникации | Лекция, 2 часа | Основы квантовых коммуникаций. Квантование электромагнитного поля. Фотон. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений. Квантовая телепортация. Квантовая криптография. Безопасная передача данных. Распределение квантового ключа. Оптоволоконные линии связи. Кубит. Поляризационное кодирование, фазовое кодирование. Вероятность регистрации фотона. Атаки на линии распределения ключа. Фотонные детекторы. | **Знать**: основные понятия квантовых коммуникаций.  **Знать:** практические применения квантовых коммуникаций  **Знать:** практические применения квантовой криптографии |
| Тема 1.6.  Квантовые вычисления | Лекция, 2 часа | Основы квантовых вычислений. Квантовые биты (кубиты). Сфера Блоха для описания состояний кубита. Однокубитовые преобразования. Условные квантовые преобразования. Квантовые алгоритмы. Квантовый параллелизм. Квантовый алгоритм поиска. | **Знать:** основные понятия квантовых вычислений  **Знать:** практические применения квантовых вычислений |
| Тема 1.7.  Квантовые сенсоры | Лекция, 1 час | Определение квантовых сенсоров. Интерференция электронов и атомов. Квантовые датчики магнитного и электрического поля. Квантовый гироскоп. Квантовый гравиметр. Квантовые часы. | **Знать:** основные понятия квантовой сенсорики  **Знать:** практические применения квантовой сенсорики  **Знать:** практические применения квантовой метрологии |
| Тема 1.8.  Квантовая память | Лекция, 1 час | Современные представления о возможностях создания квантовой памяти. Квантовые точки. Примеры точно решаемых задач квантовой механики: прямоугольная потенциальная яма, гармонический осциллятор, частица в кулоновском поле. Запутанные состояния. | **Знать:** современные представления о возможностях создания квантовой памяти.  **Знать:** практические применения квантовой памяти |
| Тема 1.9.  Новые материалы для квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Физическая реализация квантовых вычислений, квантовых коммуникаций, квантовой памяти. Фотоны в резонаторах. Ионные системы. Сверхпроводящие цепи. ЯМР-ячейки. Поляризационные состояния фотона. Процессы декогерентизации состояний. Квантовые ошибки. Наноматериалы для квантовых технологий. Волновые оптические световоды для квантовых технологий | **Знать:** основные подходы к физической реализации квантовых технологий  **Знать:** практические применения материалов для квантовых технологий |
| Тема 1.10.  Технологическое, инструментальное и метрологическое обеспечение квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Применение новых материалов, технических решений и комплексных систем на их основе для практической реализации квантовых технологий. Обеспечение практической реализации квантовых технологий инструментами и средствами измерения. Поддерживающие технологии, техника и инфраструктура квантовых технологий | **Знать:** основы технологического обеспечения квантовых технологий  **Знать:** основные практические применения квантовой метрологии |
| **Модуль 2. Прикладные аспекты квантовых технологий** | | | |
| Тема 2.1.  Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Перечень и описание ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний России, осуществляющих деятельность в сфере научных исследований и разработок квантовых технологий | **Знать:** основные научно–исследовательские организации и производственные компании работающие в сфере квантовых технологий в России |
| Самостоятель-ная практическая работа, 8 часов | *Практическая работа № 3.*  «Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий» | **Уметь**: составлять описание научных и технологических заделов в сфере квантовых технологий  **Уметь**: составлять аналитические карты-схемы с описанием организаций, осуществляющих деятельности по научным исследованиями и разработкам в сфере квантовых технологий |
| Тема 2.2.  Зарубежные научные и производственные организации, работающие в сфере квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Перечень и описание ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний различных стран мира, осуществляющих деятельность в сфере научных исследований и разработок квантовых технологий | **Знать:** основные научно–исследовательские организации и производственные компании работающие в сфере квантовых технологий за рубежом |
| Тема 2.3.  Развитие квантовых технологий в странах ОЭСР | Лекция, 2 часа | Достижения и современное состояние научно-технологического задела ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний различных стран ОЭСР | **Знать:** основные достижения в сфере квантовых технологий в странах ОЭСР, на современном этапе развития науки и техники |
| Тема 2.4.  Развитие квантовых технологий в Китае | Лекция, 2 часа | Достижения и современное состояние научно-технологического задела ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний Китая | **Знать:** основные достижения в сфере квантовых технологий в Китае, на современном этапе развития науки и техники |
| Тема 2.5.  Дорожные карты развития квантовых технологий в России | Лекция, 2 часа | Дорожная карта развития сквозной технологии «Квантовые технологии» в России. Дорожные карты развития квантовых коммуникаций, квантовой сенсорики и метрологии, квантовых вычислений, разрабатываемые крупными российскими корпорациями и институтами развития. | **Знать**: структуру и состав дорожных карт развития квантовых технологий  **Знать:** состав мероприятий дорожных карт по развитию квантовых технологий в России |
| Самостоятель-ная практическая работа, 10 часов | *Практическая работа № 4.*  Дорожные карты развития квантовых технологий в России. | **Уметь:** формировать структуру направлений дорожной карты развития квантовых технологий  **Уметь:** формировать мероприятия дорожной карты по развитию квантовых технологий |
| Тема 2.6.  Научно-техническое прогнозирование и технологическое предвидение перспектив развития квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Прогнозирование перспектив развития квантовых технологий: томография квантовых состояний и процессов, подавление ошибок в квантовых компьютерах, вариационные квантовые алгоритмы, алгоритмы квантового машинного обучения, эмуляция квантовых вычислений, оптимизация квантовых операций, исследование ресурса существующих квантовых компьютеров | **Знать:** перспективные направления поиска новых научных открытий, новых материалов, новых технических решений в сфере квантовых технологий |
| Тема 2.7.  Международная конкуренция за формирование стандартов в сфере квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Конкуренция за формирование международных стандартов как способ завоевания доминирующих позиций на формирующихся новых рынках квантовых технологий. Конкуренция стандартов в сфере квантовых коммуникаций и квантовой криптографии. | **Знать:** основы применения стандартов в качестве конкурентных преимуществ |
| Тема 2.8.  Перспективные направления поисковых исследований в сфере квантовых технологий | Лекция, 1 час | Квантовая томография. Исследование электромагнитных излучений. Конструктивная интерференция. Нелокальность. Фотоэлектрический эффект. Перспективные научные направления в сфере исследований электромагнетизма, электромагнитных волн, электромагнитных излучений и электромагнитного спектра. | **Знать:** современные теоретические проблемы, требующие решения для дальнейшего развития научных основ квантовых технологий |
| Тема 2.9.  Перспективные направления прикладных исследований и разработок в сфере квантовых технологий | Лекция, 1 час | Люминисценция и люминофоры. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений. Применение эффектов размерного квантования в технике: дисплей на квантовых точках (OLED), перспективные технические системы на квантовых точках. Квантоворазмерные лазеры. Наночастицы и перспективы их применения в технике. | **Знать:** современные технологические барьеры и ограничения, требующие преодоления, для дальнейшего развития квантовых технологий и технических систем на их основе |
| Тема 2.10.  Квантовые технологии – перспективы, риски и возможности | Лекция, 2 часа | Перспективы использования квантовых алгоритмов, создания и моделирования сложных физических, химических, биологических систем, новых физических методов передачи, приема, хранения и обработки информации. Риски применения квантовых технологий. Возможности развития большого числа приложений квантовых технологий в различных областях науки и техники. Потенциал создания новых глобальных рынков на основе технических решений, создаваемых с помощью прикладных квантовых технологий. | **Знать:** основные прикладные сферы, в которых может произойти цифровая трансформация на основе прикладных квантовых технологий  **Знать:** возможности и риски широкого распространения технических решений на основе квантовых технологий |
| Итоговая аттестация |  | Зачет (на сновании совокупности выполненных практических работ) |  |

**5.Календарный план-график реализации образовательной программы**

(дата начала обучения – дата завершения обучения) в текущем календарном году, указания на периодичность набора групп (не менее 1 группы в месяц)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование учебных модулей** | **Трудоёмкость (час)** | **Сроки обучения** |
| **1** | **Модуль 1. Базовые понятия квантовых технологий** | 36 | 02.11.2020-06.11.2020 |
| **2** | **Модуль 2. Прикладные аспекты квантовых технологий** | 36 | 09.11.2020-13.11.2020 |
| **Всего:** | | **72** |  |

**Календарный учебный график**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п\п | Учебные недели/часы | 1-я неделя | 2-я неделя |
| Тема |
|  | Квантовые технологии – развивающаяся область науки и техники | Т, П, С |  |
|  | Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире | Т, П, С |  |
|  | Основные составляющие квантовых технологий | Т, П, С |  |
|  | Различные направления исследований и подходы к реализации квантовых технологий | Т, П |  |
|  | Квантовые коммуникации | Т, П |  |
|  | Квантовые вычисления | Т, П |  |
|  | Квантовые сенсоры | Т |  |
|  | Квантовая память | Т |  |
|  | Новые материалы для квантовых технологий | Т, П |  |
|  | Технологическое, инструментальное и метрологическое обеспечение квантовых технологий | Т, П |  |
|  | Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий |  | Т, П |
|  | Зарубежные научные и производственные организации, работающие в сфере квантовых технологий |  | Т, П |
|  | Развитие квантовых технологий в странах ОЭСР |  | Т, П, С |
|  | Развитие квантовых технологий в Китае |  | Т, П |
|  | Дорожные карты развития квантовых технологий в России |  | Т, П, С |
|  | Научно-техническое прогнозирование и технологическое предвидение перспектив развития квантовых технологий |  | Т, П, С |
|  | Международная конкуренция за формирование стандартов в сфере квантовых технологий |  | Т, П |
|  | Перспективные направления поисковых исследований в сфере квантовых технологий |  | Т |
|  | Перспективные направления прикладных исследований и разработок в сфере квантовых технологий |  | Т |
|  | Квантовые технологии – перспективы, риски и возможности |  | Т, П |
|  | Итоговая аттестация |  | ИА |

*Условные обозначения:*

Т – теоретическая подготовка

П или С – практика или стажировка

К – входной, текущий, промежуточный контроль знаний, умений

ПА – промежуточная аттестация (экзамен, зачет)

ИА – итоговая аттестация

**6.Учебно-тематический план программы**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Модуль / Тема** | **Всего, час** | **Виды учебных занятий** | | | **Формы контроля** |
| **лекции** | **практические занятия** | **самостоятельная работа** |
| **1** **.** | Базовые понятия квантовых технологий | 36 | 18 |  | 18 | Входное тестирование |
| **1.1.** | Квантовые технологии – развивающаяся область науки и техники | 2 | 2 |  |  |  |
| **1.2.** | Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире. Нормативно-правовая база в сфере квантовых технологий | 10 | 2 |  | 8 | Практическая работа №1 |
| 1.3. | Основные составляющие квантовых технологий | 12 | 2 |  | 10 | Практическая работа №2 |
| **2** **.** | Прикладные аспекты квантовых технологий | 36 | 18 |  | 18 |  |
| 2**.1.** | Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий | 10 | 2 |  | 8 | Практическая работа №3 |
| **2.2.** | Зарубежные научные и производственные организации, работающие в сфере квантовых технологий | 2 | 2 |  |  |  |
| 2.3. | Развитие квантовых технологий в странах ОЭСР | 2 | 2 |  |  |  |

**7. Учебная (рабочая) программа повышения квалификации «**  Квантовые технологии  **»**

7.1. Полный перечень тем по каждому из модулей

| №  п/п | Наименование учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), вида аттестации | Аудиторные учебные занятия, учебные работы | | | Внеаудиторная работа | Формы аттестации, контроля | Трудоемкость |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Всего ауд.,  час. | Лекции | Практ. занятия | Сам. работа |  |  |
| 1. | Модуль 1. Базовые понятия квантовых технологий | 18 | 18 | - | 18 |  | 36 |
| 1.1. | Квантовые технологии – развивающаяся область науки и техники. | 2 | 2 | - | - | Входное тестирование. | 2 |
| 1.2. | Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире. Нормативно-правовая база в сфере квантовых технологий. | 2 | 2 | - | 8 | Практическая работа 1 | 10 |
| 1.3. | Основные составляющие квантовых технологий | 2 | 2 | - | 10 | Практическая работа 2 | 12 |
| 1.4. | Различные направления исследований и подходы к реализации квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.5. | Квантовые коммуникации | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.6. | Квантовые вычисления | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.7. | Квантовые сенсоры | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 1.8. | Квантовая память | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 1.9. | Новые материалы для квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 1.10. | Технологическое, инструментальное и метрологическое обеспечение квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2. | Модуль 2. Прикладные аспекты квантовых технологий | 18 | 18 | - | 18 |  | 36 |
| 2.1. | Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий | 2 | 2 | - | 8 | Практическая работа 3 | 10 |
| 2.2. | Зарубежные научные и производственные организации, работающие в сфере квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.3. | Развитие квантовых технологий в странах ОЭСР | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.4. | Развитие квантовых технологий в Китае | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.5. | Дорожные карты развития квантовых технологий в России | 2 | 2 | - | 10 | Практическая работа 4 | 12 |
| 2.6. | Научно-техническое прогнозирование и технологическое предвидение перспектив развития квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.7. | Международная конкуренция за формирование стандартов в сфере квантовых технологий | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 2.8. | Перспективные направления поисковых исследований в сфере квантовых технологий | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 2.9. | Перспективные направления прикладных исследований и разработок в сфере квантовых технологий | 1 | 1 | - | - |  | 1 |
| 2.10. | Квантовые технологии – перспективы, риски и возможности | 2 | 2 | - | - |  | 2 |
| 3. | Итоговая аттестация |  |  |  |  | Выходное тестирование.  Зачет  (на сновании совокупности выполненных практических работ) |  |
|  | ИТОГО | 72 | 18 | 18 | 36 |  | 72 |

Учебная программа

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Виды учебных занятий, учебных работ | Содержание | Планируемые результаты обучения  (Знать/Уметь) |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Модуль 1. Базовые понятия квантовых технологий | | | |
| Тема 1.1.  Квантовые технологии – развивающаяся область науки и техники | Лекция, 2 часа | Понятие квантовых технологий. Определение квантовых технологий. Состав квантовых технологий. Основные термины и определения в сфере квантовых технологий. Научные основы квантовых технологий. Прикладное значение различных составляющих квантовых технологий. История развития представлений о перспективных информационных и коммуникационных технологиях, технологиях сенсорики и метрологии, основанных на фундаментальных принципах квантовой механики. Коллективные квантовые явления. Индивидуальные квантовые системы. Возможные практические реализации: квантовые датчики, квантовая передача информации, квантовая память, квантовые вычисления. Перспективы и проблемы развития квантовых технологий. | Знать: определение основных понятий в сфере квантовых технологий  Знать: состав квантовых технологий на современном этапе развития науки и техники  Знать: возможные практические реализации квантовых технологий |
| Тема 1.2.  Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире. Нормативно-правовая база в сфере квантовых технологий. | Лекция, 2 часа | Стратегические направления развития фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в сфере квантовых технологий в различных странах и в крупных корпорациях. Стимулирование развития принципиально новых методов регистрации, вычисления и связи, хранения информации, базирующиеся на принципах квантовой механики. Поиск научных открытий и прорывных технических решений, формирующих новую область знаний, прикладных решений и новые рынки. | Знать: современные стратегии  и программы развития квантовых технологий государственного и корпоративного уровня  Знать: существующие нормативно-правовые основы квантовых технологий |
| Самостоятель-ная практическая работа, 8 часов | Практическая работа № 1.  Анализ государственных и корпоративных программы развития квантовых технологий в мире | Уметь: анализировать государственные и корпоративные программы в области квантовых технологий |
| Тема 1.3.  Основные составляющие квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Ландшафт квантовых технологий. Основные субтехнологии – квантовые вычисления, квантовые коммуникации, квантовые сенсоры, квантовая метрология, квантовая память. Критические технологии, необходимые для практической реализации квантовых технологий. | Знать: ландшафт квантовых технологий на современном уровне развития науки и техники  Знать: основные области практического применения субтехнологий, входящих в состав квантовых технологий |
| Самостоятель-ная практическая работа, 10 часов | Практическая работа № 2.  Описание основных компонентов квантовых технологий | Уметь: определять, анализировать и описывать составляющие квантовых технологий |
| Тема 1.4.  Различные направления исследований и подходы к реализации квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Проблемы перехода от управлении коллективными квантовыми явлениями к управлению сложными квантовыми системами на уровне, атомов, фотонов, наночастиц. Современные нанотехнологии и различные технические решения на основе нанотехнологий. Современные научно-технологические платформы для реализации квантовых вычислений: 1) сверхпроводящие цепочки; 2) нейтральные атомы; 3) ионы в ловушках. Квантовые симуляторы. Современные научно-технологические платформы для реализации квантовых коммуникаций: А) решениях точка–точка; Б) сети с доверенным узлом. | Знать: современные научно-технологические платформы для реализации квантовых вычислений  Знать: современные научно-технологические платформы для реализации квантовых коммуникаций |
| Тема 1.5.  Квантовые коммуникации | Лекция, 2 часа | Основы квантовых коммуникаций. Квантование электромагнитного поля. Фотон. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений. Квантовая телепортация. Квантовая криптография. Безопасная передача данных. Распределение квантового ключа. Оптоволоконные линии связи. Кубит. Поляризационное кодирование, фазовое кодирование. Вероятность регистрации фотона. Атаки на линии распределения ключа. Фотонные детекторы. | Знать: основные понятия квантовых коммуникаций.  Знать: практические применения квантовых коммуникаций  Знать: практические применения квантовой криптографии |
| Тема 1.6.  Квантовые вычисления | Лекция, 2 часа | Основы квантовых вычислений. Квантовые биты (кубиты). Сфера Блоха для описания состояний кубита. Однокубитовые преобразования. Условные квантовые преобразования. Квантовые алгоритмы. Квантовый параллелизм. Квантовый алгоритм поиска. | Знать: основные понятия квантовых вычислений  Знать: практические применения квантовых вычислений |
| Тема 1.7.  Квантовые сенсоры | Лекция, 1 час | Определение квантовых сенсоров. Интерференция электронов и атомов. Квантовые датчики магнитного и электрического поля. Квантовый гироскоп. Квантовый гравиметр. Квантовые часы. | Знать: основные понятия квантовой сенсорики  Знать: практические применения квантовой сенсорики  Знать: практические применения квантовой метрологии |
| Тема 1.8.  Квантовая память | Лекция, 1 час | Современные представления о возможностях создания квантовой памяти. Квантовые точки. Примеры точно решаемых задач квантовой механики: прямоугольная потенциальная яма, гармонический осциллятор, частица в кулоновском поле. Запутанные состояния. | Знать: современные представления о возможностях создания квантовой памяти.  Знать: практические применения квантовой памяти |
| Тема 1.9.  Новые материалы для квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Физическая реализация квантовых вычислений, квантовых коммуникаций, квантовой памяти. Фотоны в резонаторах. Ионные системы. Сверхпроводящие цепи. ЯМР-ячейки. Поляризационные состояния фотона. Процессы декогерентизации состояний. Квантовые ошибки. Наноматериалы для квантовых технологий. Волновые оптические световоды для квантовых технологий | Знать: основные подходы к физической реализации квантовых технологий  Знать: практические применения материалов для квантовых технологий |
| Тема 1.10.  Технологическое, инструментальное и метрологическое обеспечение квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Применение новых материалов, технических решений и комплексных систем на их основе для практической реализации квантовых технологий. Обеспечение практической реализации квантовых технологий инструментами и средствами измерения. Поддерживающие технологии, техника и инфраструктура квантовых технологий | Знать: основы технологического обеспечения квантовых технологий  Знать: основные практические применения квантовой метрологии |
| Модуль 2. Прикладные аспекты квантовых технологий | | | |
| Тема 2.1.  Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Перечень и описание ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний России, осуществляющих деятельность в сфере научных исследований и разработок квантовых технологий | Знать: основные научно–исследовательские организации и производственные компании работающие в сфере квантовых технологий в России |
| Самостоятель-ная практическая работа, 8 часов | Практическая работа № 3.  «Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий» | Уметь: составлять описание научных и технологических заделов в сфере квантовых технологий  Уметь: составлять аналитические карты-схемы с описанием организаций, осуществляющих деятельности по научным исследованиями и разработкам в сфере квантовых технологий |
| Тема 2.2.  Зарубежные научные и производственные организации, работающие в сфере квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Перечень и описание ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний различных стран мира, осуществляющих деятельность в сфере научных исследований и разработок квантовых технологий | Знать: основные научно–исследовательские организации и производственные компании работающие в сфере квантовых технологий за рубежом |
| Тема 2.3.  Развитие квантовых технологий в странах ОЭСР | Лекция, 2 часа | Достижения и современное состояние научно-технологического задела ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний различных стран ОЭСР | Знать: основные достижения в сфере квантовых технологий в странах ОЭСР, на современном этапе развития науки и техники |
| Тема 2.4.  Развитие квантовых технологий в Китае | Лекция, 2 часа | Достижения и современное состояние научно-технологического задела ведущих научно–исследовательских организаций и производственных компаний Китая | Знать: основные достижения в сфере квантовых технологий в Китае, на современном этапе развития науки и техники |
| Тема 2.5.  Дорожные карты развития квантовых технологий в России | Лекция, 2 часа | Дорожная карта развития сквозной технологии «Квантовые технологии» в России. Дорожные карты развития квантовых коммуникаций, квантовой сенсорики и метрологии, квантовых вычислений, разрабатываемые крупными российскими корпорациями и институтами развития. | Знать: структуру и состав дорожных карт развития квантовых технологий  Знать: состав мероприятий дорожных карт по развитию квантовых технологий в России |
| Самостоятель-ная практическая работа, 10 часов | Практическая работа № 4.  Дорожные карты развития квантовых технологий в России. | Уметь: формировать структуру направлений дорожной карты развития квантовых технологий  Уметь: формировать мероприятия дорожной карты по развитию квантовых технологий |
| Тема 2.6.  Научно-техническое прогнозирование и технологическое предвидение перспектив развития квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Прогнозирование перспектив развития квантовых технологий: томография квантовых состояний и процессов, подавление ошибок в квантовых компьютерах, вариационные квантовые алгоритмы, алгоритмы квантового машинного обучения, эмуляция квантовых вычислений, оптимизация квантовых операций, исследование ресурса существующих квантовых компьютеров | Знать: перспективные направления поиска новых научных открытий, новых материалов, новых технических решений в сфере квантовых технологий |
| Тема 2.7.  Международная конкуренция за формирование стандартов в сфере квантовых технологий | Лекция, 2 часа | Конкуренция за формирование международных стандартов как способ завоевания доминирующих позиций на формирующихся новых рынках квантовых технологий. Конкуренция стандартов в сфере квантовых коммуникаций и квантовой криптографии. | Знать: основы применения стандартов в качестве конкурентных преимуществ |
| Тема 2.8.  Перспективные направления поисковых исследований в сфере квантовых технологий | Лекция, 1 час | Квантовая томография. Исследование электромагнитных излучений. Конструктивная интерференция. Нелокальность. Фотоэлектрический эффект. Перспективные научные направления в сфере исследований электромагнетизма, электромагнитных волн, электромагнитных излучений и электромагнитного спектра. | Знать: современные теоретические проблемы, требующие решения для дальнейшего развития научных основ квантовых технологий |
| Тема 2.9.  Перспективные направления прикладных исследований и разработок в сфере квантовых технологий | Лекция, 1 час | Люминисценция и люминофоры. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений. Применение эффектов размерного квантования в технике: дисплей на квантовых точках (OLED), перспективные технические системы на квантовых точках. Квантоворазмерные лазеры. Наночастицы и перспективы их применения в технике. | Знать: современные технологические барьеры и ограничения, требующие преодоления, для дальнейшего развития квантовых технологий и технических систем на их основе |
| Тема 2.10.  Квантовые технологии – перспективы, риски и возможности | Лекция, 2 часа | Перспективы использования квантовых алгоритмов, создания и моделирования сложных физических, химических, биологических систем, новых физических методов передачи, приема, хранения и обработки информации. Риски применения квантовых технологий. Возможности развития большого числа приложений квантовых технологий в различных областях науки и техники. Потенциал создания новых глобальных рынков на основе технических решений, создаваемых с помощью прикладных квантовых технологий. | Знать: основные прикладные сферы, в которых может произойти цифровая трансформация на основе прикладных квантовых технологий  Знать: возможности и риски широкого распространения технических решений на основе квантовых технологий |
| Итоговая аттестация |  | Зачет (на сновании совокупности выполненных практических работ) |  |

Описание практико-ориентированных заданий и кейсов

Практическая работа 1

по теме «Государственные и корпоративные программы развития квантовых технологий в мире. Нормативно-правовая база в сфере квантовых технологий»

|  |  |
| --- | --- |
| Название работы | Анализ государственных и корпоративных программы развития квантовых технологий в мире |
| Описание задания | Составление аналитической таблицы сопоставления программ развития квантовых технологий в мире. Структура отчета о выполнении задания: аналитическая таблица состоит не менее чем из четырех столбцов с критериями сравнительного описания программ развития квантовых технологий, строки аналитической таблицы соответствуют каждой из сопоставляемых программ развития квантовых технологий (не менее трех). Содержание отчета о выполнении задания: аналитическая таблица содержит тезисные характеристики программ развития квантовых технологий в объеме до 120 печатных символов по каждой из характеристик для каждого из критериев аналитического описания программ развития квантовых технологий. |
| Критерии оценивания | 1 балл за одну рассмотренную программу развития квантовых технологий  7-8 баллов – высокий уровень,  3-6 баллов – средний уровень,  менее 3 – низкий уровень. |
| Оценка | Зачтено/не зачтено |

Практическая работа 2

по теме «Основные составляющие квантовых технологий»

|  |  |
| --- | --- |
| Название работы | Описание основных компонентов квантовых технологий |
| Описание задания | Составление аналитической справки по основным компонентам квантовых технологий. Структура отчета о выполнении задания: аналитическая справка состоит из определения компонента квантовых технологий и описания области его применения (не менее трех компонентов). Содержание отчета о выполнении задания: аналитическая справка содержит термины и определения компонентов, составляющих квантовые технологии, описание области их применений, в объеме до 250 печатных символов по каждому из компонентов. |
| Критерии оценивания | 1 балл за один рассмотренный компонент квантовых технологий  7-8 баллов – высокий уровень,  3-6 баллов – средний уровень,  менее 3 – низкий уровень. |
| Оценка | Зачтено/не зачтено |

Практическая работа 3

по теме «Научные и производственные организации России, работающие в сфере квантовых технологий»

|  |  |
| --- | --- |
| Название (проекта, разработки, сценария и т.д.) | Аналитическая карта-схема научных и производственных организаций России, работающих в сфере квантовых технологий |
| Требования к структуре и содержанию | Составление аналитической карты-схемы научных и производственных организаций России, работающих в сфере квантовых технологий. Структура отчета о выполнении задания: аналитическая карта-схема состоит из описания научных заделов и специализации организации (не менее трех организаций). Содержание отчета о выполнении задания: аналитическая карта-схема содержит описание направлений научных исследований и разработок, специализаций, основных достижений организации и областей их применений, в объеме до 1000 печатных символов по каждой из организаций. |
| Критерии оценивания | 1 балл за одну рассмотренную организацию, работающую в сфере квантовых технологий  7-8 баллов – высокий уровень,  3-6 баллов – средний уровень,  менее 3 – низкий уровень. |
| Оценка | Зачтено/не зачтено |

Практическая работа 4

по теме «Дорожные карты развития квантовых технологий в России»

|  |  |
| --- | --- |
| Название (проекта, разработки, сценария и т.д.) | Дорожная карта развития квантовых технологий |
| Требования к структуре и содержанию | Составление авторского шаблона дорожной карты и наполнение его предложениями мероприятий развитию квантовых технологий. Структура отчета о выполнении задания: дорожная карта с разделами, содержащими различные направления развития квантовых технологий (не менее трех различных направлений развития). Содержание отчета о выполнении задания: дорожная карта содержит описание направлений развития квантовых технологий с кратким описанием содержания предлагаемых мероприятий, в объеме до 500 печатных символов по каждому из направлений. |
| Критерии оценивания | 1 балл за одно предложенное направление дорожной карты развития квантовых технологий  7-8 баллов – высокий уровень,  3-6 баллов – средний уровень,  менее 3 – низкий уровень. |
| Оценка | Зачтено/не зачтено |

Текущая аттестация.

Входное тестирование

|  |  |
| --- | --- |
| Форма проведения | Онлайн-тестирование |
| Виды оценочных материалов | Тест из 8 заданий в электронной форме |
| Критерии оценивания | 1 – правильный ответ; 0 – неправильный ответ.  7-8 баллов – высокий уровень,  3-6 баллов – средний уровень,  менее 3 – низкий уровень. |
| Оценка | Не предусмотрено (анкетирование проводится с целью определения уровня владения материалом) |

Вопросы для входного тестирования представляют собой закрытые вопросы, с вариантами ответа, для выбора только одного правильного ответа из четырех возможных вариантов.

Для прохождения курса «Квантовые технологии» допускаются слушатели, набравшие не менее 3 баллов из 8 возможных.

ВОПРОСЫ

ВОПРОС 1

«Первая квантовая революция» это:

- прогнозы фантастов о мире после внедрения квантовых технологий

- прогноз скачкообразного развития технологий после 2045 года

- концепция быстрого внедрения квантовых технологий

- бурное развитие физики в первой половине XX века, которое привело к появлению лазеров, транзисторов, ядерного оружия

ВОПРОС 2

Кубит это:

- модный термин из современной футурологии

- единица измерения в квантовых вычислениях

- единица измерения в квантовых коммуникациях

- элемент с квантовым разрядом, предназначенный для хранения информации квантового компьютера

ВОПРОС 3

Какие состояния может иметь кубит?

- как обычный компьютерный бит

- только два состояния – ноль или единицу

- современное состояние науки и технологий не позволяют точно определять состояния кубитов

- может находиться в состоянии суперпозиции (может одновременно иметь состояния «ноль» и «единица»)

ВОПРОС 4

Что такое кубит с точки зрения технической реализации?

- в настоящее время еще не существует технической реализации кубита

- кубит это только теоретическая модель

- кубит в принципе не может быть реализован технически

- оптическое устройство, состоящее из проводников, призм и зеркал, и передающее квантовую информацию

ВОПРОС 5

В чем ключевое отличие между «первой квантовой революцией» и «второй квантовой революцией»?

- отличий нет – и то и другое литературные сюжеты из научной фантастики

- отличие по времени – «первая квантовая революция» произошла в первой половине XX века, а «вторая квантовая революция» еще на даже не началась

- «первая квантовая революция» произошла в странах Европы, а «вторая квантовая революция» произошла в Северной Америке

- ключевое отличие «второй квантовой революции» от «первой квантовой революции», в которой технологии и приборы строились на управлении коллективными квантовыми явлениями, заключается в способности управлять сложными квантовыми системами на уровне отдельных частиц, например, атомов и фотонов

ВОПРОС 6

На какие три основные субтехнологии подразделяются квантовые технологии в документе Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «квантовые технологии»?

- квантовые кубиты, квантовая криптография, квантовый компьютинг

- фотоника, спинтроника, оптические нано-материалы

- нанотехнологии для оптических применений, лазеры, квантовые точки

- 1) квантовые вычисления; 2) квантовые коммуникации; 3) квантовые сенсоры и метрология.

ВОПРОС 7

В чем отличие квантовых вычислений от квантовых коммуникаций?

- на современном этапе развития науки и технологий существенных отличия еще не выявлены

- в квантовых вычислениях используются фотоны, а в квантовых коммуникациях не используются

- в квантовых вычислениях используются отдельные атомы, а в квантовых коммуникациях не используются

- Квантовые вычисления – новый класс вычислительных устройств, использующий для решения задач принципы квантовой механики, а Квантовые коммуникации – технология криптографической защиты информации, использующая для передачи ключей индивидуальные квантовые частицы.

ВОПРОС 8

В чем отличие квантовых коммуникаций от квантовых сенсоров и метрологии?

- на современном этапе развития науки и технологий существенных отличия еще не выявлены

- в квантовых коммуникациях используются отдельные атомы, а в квантовых сенсорах и метрологии не используются

- в квантовых коммуникациях используются фотоны, а в квантовых сенсорах и метрологии не используются

- Квантовые коммуникации – технология криптографической защиты информации, использующая для передачи ключей индивидуальные квантовые частицы, а Квантовые сенсоры и метрология – совокупность высокоточных измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах.

Выходное тестирование

|  |  |
| --- | --- |
| Форма проведения | Онлайн-тестирование |
| Виды оценочных материалов | Тест из 8 заданий в электронной форме |
| Критерии оценивания | 1 – правильный ответ; 0 – неправильный ответ.  «Зачтено» выставляется слушателям, если они набрали 7-8 баллов |
| Оценка | Зачтено/не зачтено |

Полный перечень вопросов выходного тестирования:

1. Лазерные источники излучения. Основные характеристики лазерных источников.

2. Непрерывные и импульсные лазеры. Характеристики лазерных источников. Модуляция добротности. Методы синхронизации мод.

3. Фемтосекундные лазеры. Регенеративный усилитель.

4. Параметрический генератор света. Генерация суперконтинуума.

5. Нелазерные источники света, классификация.

6. Чирпированные импульсы. Сжатие фемтосекундных импульсов.

7. Детекторы электромагнитного излучения. Спектральные и временные характеристики фотодетекторов. Схемы включения режимы.

8. Методы измерения мощности лазерного излучения.

9. Фотоэлектронный умножитель, счет фотонов.

10. Регистрация оптических изображений. Позиционно-чувствительные измерения.

11. Измерение длительности и формы сверхкоротких лазерных импульсов.

12. Корреляционные измерения сверхкоротких импульсов с чувствительностью к фазе. Поляризационно-чувствительные времяразрешающие схемы.

13. Оптические и оптомеханические элементы. Многослойные и металлические зеркала, материалы для различных спектральных диапазонов.

14. Спектральная фильтрация излучения, цветное стекло, полосовые многослойные фильтры, узкополосные интерференционные фильтры. Типы светоделителей.

15. Поляризационная оптика, поляризационные призмы, преобразование поляризации. Широкополосная поляризационная оптика.

16. Фокусировка и коллимирование пучков. Сферические и параболические зеркала. Характеристики линз, материалы для различных применений. Сферические и хроматические абберации.

17. Хроматический дублет. Характеристики оптических объективов. Ахроматы, планахроматы, планапохроматы, микрофлюары. Поляризационные, люминесцентные, фазовые объективы.

18. Аппаратная и программная обработка слабых сигналов, счет фотонов.

19. Синхронное детектирование оптических сигналов, модуляционные методики. Фильтрация сигналов (полосовая, низких и высоких частот), улучшение соотношения сигнал-шум.

20. Стробируемая система регистрации оптических сигналов.

21. Параметрический усилитель. Спектроскопия оптических гармоник.

22. Спектральные приборы, типы спектрометров, аберрации в спектральных приборах и способы ее компенсации. Призменные и решеточные спектрометры.

23. Терагерцовая спектроскопия во временном домене.

24. Оптическая и лазерная микроспектроскопия.

25. Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия, предельная толщина образца. Искажения изображений. Дифракция электронов.

26. Рентгеноструктурный анализ. Рентгеновская дифракция. Лауэграммы, дебаеграммы. Малоугловая рентгеновская дифракция.

27. Методы электронной дифракции. Дифракция медленных и быстрых электронов.

28. Зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная, атомно-силовая и магнитно-силовая микроскопия.

29. Ближнепольная оптическая микроскопия. Методы оптической сверхразрешающей микроскопии.

30. Электронно-лучевая и ионно-лучевая нанолитография.

31. Двухфотонная нанолитография.

32. Лазерная интерференционная литография.

33. Лазерный пинцет.

34. Операторы Паули. Преобразование Адамара, интерферометр Маха-Цандера..

35. Требования, предъявляемые к квантовому компьютеру.

36. Уравнение Шредингера, теория представлений.

37. Чистые и смешанные состояния. Вычисление средних величин.

38. Матрица и оператор плотности.

39. Вычисление энтропии фон Неймана и Шеннона для конкретного состояния двухуровневой системы.

40. Основные модели квантовых состояний высокой размерности (D>2).

41. Интерференция одиночных фотонов и интерпретации интерференционных экспериментов.

42. Композиционные системы. Различие между классической и квантовой информацией. Достижимая информация. Теорема о запрете клонирования квантовых состояний. Ее связь с достижимой информацией.

43. Теорема Б.Шумахера о кодировании при отсутствии шума.

44. Криптология, криптография и криптоанализ. Основные задачи криптографии. Понятия открытого текста, криптограммы, ключа и криптосистемы. Принцип Керкхгоффа. Приложения криптографии.

45. Криптоанализ и основные виды атак. Подслушиватели (нарушители). Активный и пассивный, внутренний и внешний подслушиватели.

46. Криптология, криптография и криптоанализ. Основные задачи криптографии. Понятия открытого текста, криптограммы, ключа и криптосистемы. Принцип Керкхгоффа. Приложения криптографии.

47. Симметричные криптографические системы. Криптосистема с открытым ключом - асимметрия шифровки и дешифровки. Протокол RSA.

48. Типы секретности сообщений (по Шеннону). Безусловно и условно стойкие шифры. Распределение ключей. Генерация ключей, их хранение и уничтожение.

49. Одноключевые (симметричные) методы шифрования. Рассеивание и перемешивание. Понятие о криптосистемах DES и ГОСТ 28147-89, их достоинства и недостатки. Основные проблемы симметричных протоколов. Аутентификация секретного ключа. Двухключевые (асимметричные) методы шифрования. Механизм распределения ключей по открытому каналу по У.Диффи и М.Хеллману. Понятие о криптосистемах RSA и Эль-Гамаля. Электронная подпись. Общая схема протокола квантового распределения ключей.

50. Вектор Джонса. Поляризационные преобразования. Фазовые пластинки. Некоторые сведения из теории квантовых измерений. Сопряженные базисы.

51. Определение (I) неклассического света и его недостатки.

52. Состояния Белла, как частный случай перепутанных состояний (ПС). Преобразования состояний Белла при смене базиса.

53. Перепутывание по времени, временная пост-селекция. Пространственно-частотные, поляризационно-частотные, поляризационноугловые ПС. Амплитудная пост-селекция.

Чистые перепутанные состояния. Разложение Шмидта двухкомпонентной системы. Энтропия перепутывания. Степень перепутывания.

Локальные операции и классические сообщения. Параметр Федорова.

54. Парадокс ЭПР в варианте Бома.

55. Неравенства Белла. Классическая модель с двумя дихотомными переменными. Измеряемая Белла. Модель скрытых параметров. Квантовая модель.

56. Парадокс Белла для трех наблюдаемых. Состояния Гринберга - Хорна - Цайлингера.

57. Протокол квантовой телепортации.

58. Протокол сверхплотной кодировки кубитов (dense coding).

59. Протокол обмена перепутыванием (swapping).

60. Измерительный (Борна) и проекционный постулаты (фон Неймана).

61. Понятие о квантовой томографии. Фиксированные и адаптивные протоколы.

62. Общие требования, необходимые для реализации полномасштабных квантовых компьютеров. Условия Ди Винченцо.

63. Основные физические модели для реализации квантовых вычислений.

**8. Описание практико-ориентированных заданий и кейсов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Номер темы/модуля** | **Наименование практического занятия** | **Описание** |
| 1 | **1.2.** | Анализ государственных и корпоративных программы развития квантовых технологий в мире | Составление аналитической таблицы сопоставления программ развития квантовых технологий в мире. Структура отчета о выполнении задания: аналитическая таблица состоит не менее чем из четырех столбцов с критериями сравнительного описания программ развития квантовых технологий, строки аналитической таблицы соответствуют каждой из сопоставляемых программ развития квантовых технологий (не менее трех). Содержание отчета о выполнении задания: аналитическая таблица содержит тезисные характеристики программ развития квантовых технологий в объеме до 120 печатных символов по каждой из характеристик для каждого из критериев аналитического описания программ развития квантовых технологий. |
| 2 | **1.3.** | Описание основных компонентов квантовых технологий | Составление аналитической справки по основным компонентам квантовых технологий. Структура отчета о выполнении задания: аналитическая справка состоит из определения компонента квантовых технологий и описания области его применения (не менее трех компонентов). Содержание отчета о выполнении задания: аналитическая справка содержит термины и определения компонентов, составляющих квантовые технологии, описание области их применений, в объеме до 250 печатных символов по каждому из компонентов |
| 3 | 2.1 | Аналитическая карта-схема научных и производственных организаций России, работающих в сфере квантовых технологий | Составление аналитической карты-схемы научных и производственных организаций России, работающих в сфере квантовых технологий. Структура отчета о выполнении задания: аналитическая карта-схема состоит из описания научных заделов и специализации организации (не менее трех организаций). Содержание отчета о выполнении задания: аналитическая карта-схема содержит описание направлений научных исследований и разработок, специализаций, основных достижений организации и областей их применений, в объеме до 1000 печатных символов по каждой из организаций |

**9.Организационно-педагогические условия реализации программы**

**9.1. Кадровое обеспечение программы**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Фамилия, имя, отчество (при наличии)** | **Место основной работы и должность, ученая степень и ученое звание (при наличии)** | **Ссылки на веб-страницы с портфолио (при наличии)** | **Фото в формате jpeg** | **Отметка о полученном согласии на обработку персональных данных** |
| 1 | Кушнер Алексей Васильевич | Главный эксперт ООО «Онейро Лабс» | <http://engineering-education.ru/#expert> |  | да |

**9.2.Учебно-методическое обеспечение и информационное сопровождение**

|  |  |
| --- | --- |
| **Учебно-методические материалы** | |
| Методы, формы и технологии | Методические разработки,  материалы курса, учебная литература |

Основная:

1. Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии», 2019. (URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019kvantyi.pdf>)

2. ГОСТ Р 57257-2016/ISO/TS 80004-12:2016 НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НАНОТЕХНОЛОГИИ Часть 12 Квантовые явления. Термины и определения (Дата введения 2017-07-01)

3. Развитие квантовых технологий: основные направления приложения научных усилий/Под редакцией М.С. Липецкой. - СПб.: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2017 – 23 с.

4. Козубов А.В., Гайдаш А.А., Кынев С.М., Егоров В.И., Иванова А.Е., Глейм А.В., Мирошниченко Г.П., Основы квантовой коммуникации: часть 1 – СПб: Университет ИТМО, 2019 – 85 с.

5. Душкин Р.В. Квантовое превосходство. – М.: 2018, – 27 с.

Дополнительная:

1. Власенко А.С. Квантовый компьютер и квантовая логика. – М.: 2016, – 32 с.

2. Тимошенко В.Ю. Квантовые эффекты в наносистемах. – М.: 2009, – 34 с.

3. Килин С.Я. Спинтроника – основа развития квантовых информационных технологий. – Мн.: 2008, – 33 с.

4. Чернявский А.Ю. Введение в квантовую информатику и ее вычислительные аспекты. – М.: 2015, – 71 с.

5. Душкин Р.В. Обзор текущего состояния квантовых технологий. // КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ 2018 Т. 10 № 2 С. 165–179

6. Николя Жизан. Квантовая случайность. Нелокальность, телепортация и другие квантовые чудеса. М: Альпина нон-фикшн,  201, – 208 с.

Интернет-ресурсы:

1. Сайт Российского квантового центра (ООО «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий»). URL: [www.rqc.ru](http://www.rqc.ru)

2. Сайт Центра квантовых технологий МГУ. URL: <https://quantum.msu.ru/ru>

3. Сайт новостей вузов, научных центров и технологических компаний по тематике «Фотоника и квантовые технологии». URL: <http://www.rsci.ru/photonics/news/>

**Материально-технические условия реализации программ****ы**

Для эффективной реализации программы необходимо следующее материально-техническое обеспечение:

* мультимедийное оборудование (компьютер, интерактивная доска, мультимедиапроектор и пр.);
* система дистанционного обучения MOODLE и/или BITRIX;
* компьютерные презентации, учебно-методические и оценочные материалы.

**Образовательные технологии, используемые в процессе реализации программы**

Программа реализуется с использованием дистанционных образовательных технологий. Для каждой темы разработаны учебно-методические и оценочные материалы, размещенные в системе дистанционного обучения, которые позволяют слушателям самостоятельно осваивать содержание программы. Соотношение аудиторной и самостоятельной работы слушателей определяется перед реализацией программы для каждой группы обучающихся отдельно.

В процессе реализации программы используются лекции с элементами дискуссии, работа в малых группах, методы и приемы командно-ориентированного обучения.

**Приложение 2**

ПАСПОРТ КОМПЕТЕНЦИИ

Дополнительная профессиональная программа   
повышения квалификации "Квантовые технологии"

(Союз инженеров для подготовки инженерно-управленческих кадров промышленного комплекса "Союз молодых инженеров")

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. | Наименование компетенции | | **Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе, в поиске научно-технических заделов и организации перспективных исследований и разработок.** | |
|  | Указание типа компетенции | общекультурная/  универсальная |  | |
| общепрофессиональ ная |  | |
| профессиональная | Профессиональная | |
| профессионально-специализированная |  | |
|  | Определение, содержание и основные сущностные характеристики компетенции | | Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе, в поиске научно-технических заделов и организации перспективных исследований и разработок предполагает обладание:  - знаниями основных современных проблем и новейших достижений квантовых технологий, современного состояния и перспектив развития квантовых технологий;  - умениями применять полученные знания для решения поставленных актуальных задач в своей научно-исследовательской работе;  - навыками анализа современной научно-технической информации, в поиске научно-технических заделов и планировании перспективных исследований и разработок;  - опытом деятельности по анализу государственных и корпоративных программы развития квантовых технологий в мире | |
|  | Дескриптор знаний, умений и навыков по уровням | | Уровни сформирован ности компетенции  обучающегося | Индикаторы |
|  | | Начальный уровень  (Компетенция недостаточно развита. Частично проявляет навыки, входящие в состав компетенции. Пытается, стремится проявлять нужные навыки, понимает их необходимость, но у него не всегда получается.) | Владеет отдельными терминами и определениями,  способен самостоятельно описать некоторые достижения отдельных компаний, работающих в сфере квантовых технологий |
|  | | Базовый уровень  (Уверенно владеет навыками, способен, проявлять соответствующие навыки в ситуациях с элементами неопределён-ности, сложности.) | Владеет основными терминами и определениями,  способен описать и сопоставить современный достигнутый уровень развития квантовых технологий в целом по регионам мира |
|  | | Продвинутый  (Владеет сложными навыками, способен активно влиять на происходящее, проявлять соответствующие навыки в ситуациях повышенной сложности.) | Владеет навыком составления аналитической таблицы сопоставления программ развития квантовых технологий в мире, самостоятельной формулирует тезисные характеристики программ развития квантовых технологий для 3-4 различных программ. |
|  | | Профессиональный  (Владеет сложными навыками, создает новые решения для сложных проблем со многими взаимодействую-щими факторами, предлагает новые идеи и процессы, способен активно влиять на происходящее, проявлять соответствующие навыки  в ситуациях повышенной сложности.) | Владеет навыком составления аналитической таблицы сопоставления программ развития квантовых технологий в мире, самостоятельной формулирует тезисные характеристики программ развития квантовых технологий для 7-8 и более различных программ. |
|  | Характеристика взаимосвязи данной компетенции с другими компетенциями/ необходимость владения другими компетенциями для формирования данной компетенции | | Нет | |
|  | Средства и технологии оценки | | Практическая работа 1 «Анализ государственных и корпоративных программы развития квантовых технологий в мире». Оценка индивидуальной самостоятельной практической работы. | |
| 2. | Наименование компетенции | | **Способность свободно владеть общей информацией о составе и назначении различных элементов квантовых технологий, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности** | |
|  | Указание типа компетенции | общекультурная/  универсальная |  | |
| общепрофессиональ ная |  | |
| профессиональная | Профессиональная | |
| профессионально-специализированная |  | |
|  | Определение, содержание и основные сущностные характеристики компетенции | | Способность свободно владеть общей информацией о составе и назначении различных элементов квантовых технологий, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности предполагает обладание:  - знаниями основ квантовых технологий, состава и назначения различных элементов квантовых технологий, терминологии и определений основных понятий в сфере квантовых технологий;  - умениями применять на практике теоретические знания для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности;  - навыками анализа современной научно-технической информации, в поиске научно-технических заделов и планировании перспективных исследований и разработок;  - опытом деятельности по описанию основных компонентов квантовых технологий | |
|  | Дескриптор знаний, умений и навыков по уровням | | Уровни сформирован ности компетенции  обучающегося | Индикаторы |
|  | | Начальный уровень  (Компетенция недостаточно развита. Частично проявляет навыки, входящие в состав компетенции. Пытается, стремится проявлять нужные навыки, понимает их необходимость, но у него не всегда получается.) | Владеет отдельными терминами и характеристиками компонентов квантовых технологий,  способен самостоятельно описать некоторые компоненты квантовых технологий |
|  | | Базовый уровень  (Уверенно владеет навыками, способен, проявлять соответствующие навыки в ситуациях с элементами неопределён-ности, сложности.) | Владеет основными терминами и характеристиками компонентов квантовых технологий,  способен самостоятельно описать совокупность компонентов квантовых технологий |
|  | | Продвинутый  (Владеет сложными навыками, способен активно влиять на происходящее, проявлять соответствующие навыки в ситуациях повышенной сложности.) | Владеет навыком описания основных компонентов квантовых технологий, самостоятельно формулирует термины и определения компонентов, составляющих квантовые технологии, описание области их применений для 3-4 компонентов. |
|  | | Профессиональный  (Владеет сложными навыками, создает новые решения для сложных проблем со многими взаимодействую-щими факторами, предлагает новые идеи и процессы, способен активно влиять на происходящее, проявлять соответствующие навыки  в ситуациях повышенной сложности.) | Владеет навыком описания основных компонентов квантовых технологий, самостоятельно формулирует термины и определения компонентов, составляющих квантовые технологии, описание области их применений для 7 и более компонентов и их составляющих. |
|  | Характеристика взаимосвязи данной компетенции с другими компетенциями/ необходимость владения другими компетенциями для формирования данной компетенции | | Нет | |
|  | Средства и технологии оценки | | Практическая работа 2 «Описание основных компонентов квантовых технологий». Оценка индивидуальной самостоятельной практической работы. | |
| 3. | Наименование компетенции | | **Способность принимать участие в разработке дорожных карт развития технологий, новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности применительно к поиску идей и выбору вариантов развития квантовых технологий, технических систем и комплексных решений на их основе** | |
|  | Указание типа компетенции | общекультурная/  универсальная |  | |
| общепрофессиональ ная |  | |
| профессиональная | Профессиональная | |
| профессионально-специализированная |  | |
|  | Определение, содержание и основные сущностные характеристики компетенции | | Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе, в поиске научно-технических заделов и организации перспективных исследований и разработок предполагает обладание:  - знаниями основных современных подходов к разработке дорожных карт развития квантовых технологий и современных подходов к выбору приоритетных направлений создания перспективных технических решений на основе квантовых технологий;  - умениями собирать и анализировать информацию о проектах разработки квантовых технологий, систематизировать и расставлять приоритеты различных инновационных проектов;  - навыками разрабатотки дорожных карт научно-инновационных исследований и инженерно-технологической деятельности применительно к поиску идей и выбору вариантов развития квантовых технологий, технических систем и комплексных решений на их основе;  - опытом деятельности по анализу и разработке дорожной карты развития квантовых технологий | |
|  | Дескриптор знаний, умений и навыков по уровням | | Уровни сформирован ности компетенции  обучающегося | Индикаторы |
|  | | Начальный уровень  (Компетенция недостаточно развита. Частично проявляет навыки, входящие в состав компетенции. Пытается, стремится проявлять нужные навыки, понимает их необходимость, но у него не всегда получается.) | Владеет отдельными терминами и характеристиками дорожных карт развития квантовых технологий, способен самостоятельно описать некоторые направления и компоненты дорожных карт |
|  | | Базовый уровень  (Уверенно владеет навыками, способен, проявлять соответствующие навыки в ситуациях с элементами неопределён-ности, сложности.) | Владеет основными терминами и характеристиками дорожных карт развития квантовых технологий, способен самостоятельно описать целостную совокупности направлений и мероприятий, которые могут входить в дорожные карты развития квантовых технологий |
|  | | Продвинутый  (Владеет сложными навыками, способен активно влиять на происходящее, проявлять соответствующие навыки в ситуациях повышенной сложности.) | Владеет навыком составление авторского шаблона дорожной карты и наполнение его предложениями мероприятий развитию квантовых технологий, самостоятельно формулирует описание направлений развития квантовых технологий с их кратким описанием для 3-4 направлений. |
|  | | Профессиональный  (Владеет сложными навыками, создает новые решения для сложных проблем со многими взаимодействую-щими факторами, предлагает новые идеи и процессы, способен активно влиять на происходящее, проявлять соответствующие навыки  в ситуациях повышенной сложности.) | Владеет навыком составление авторского шаблона дорожной карты и наполнение его предложениями мероприятий развитию квантовых технологий, самостоятельно формулирует описание направлений развития квантовых технологий с описанием содержания предлагаемых мероприятий для 7-8 и более направлений. |
|  | Характеристика взаимосвязи данной компетенции с другими компетенциями/ необходимость владения другими компетенциями для формирования данной компетенции | | Нет | |
|  | Средства и технологии оценки | | Практическая работа 4 «Дорожная карта развития квантовых технологий». Оценка индивидуальной самостоятельной практической работы. | |

**VI.Иная информация о качестве и востребованности образовательной программы**

Нет

**V.Рекомендаций к программе от работодателей**:

ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ", ООО "Институт цифровой трансформации ОПК4.0", ООО "НИОКР"

**VI.Указание на возможные сценарии профессиональной траектории граждан** по итогам освоения образовательной программы

Трудоустройство или стажировка на предприятия ОПК, в военный инновационный технополис "ЭРА", в Центры компетенций Института ОПК4.0 и ООО "НИОКР"

1. [↑](#footnote-ref-1)