

Научная статья
УДК 004.77
ББК 22.18
ГРНТИ 20.53.23
ВАК 1.2.3.
PACS 01.40.Di
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Разработка дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям

А. Д. Селюкова  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 17 июня 2025 года
После переработки 25 июня 2025 года
Опубликована 30 сентября 2025 года

Аннотация. Представлены результаты разработки дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE. Целью исследования является описание процесса разработки дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE. Описаны результаты разработки структуры и элементов дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE. Объём дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям составляет 6 зачетных единиц или 216 часов.

Ключевые слова: нанотехнологии, наноэлектроника, фотоника, дистанционный курс, дистанционное обучение, система управления обучением, подготовка кадров

Введение

Оптические нанотехнологии являются одним из ключевых направлений современной науки и техники, находящим применение в фотонике, телекоммуникациях и наноэлектронике. Развитие нанотехнологий является одним из приоритетных направлений научно-технического прогресса, что обуславливает необходимость подготовки квалифицированных специалистов в области нанотехнологий. Развитие дистанционного образования открывает новые возможности для профессиональной подготовки специалистов в области нанотехнологий. Однако существующие курсы зачастую не учитывают специфику оптических нанотехнологий, что снижает их эффективность. В связи с этим создание специализированного дистанционного курса позволит повысить доступность обучения и качество подготовки кадров в сфере нанотехнологий. Онлайн-курсы предоставляют возможность получить качественное образование в области нанотехнологий без необходимости постоянного посещения учебного заведения, что особенно актуально для студентов, проживающих в отдалённых регионах.

¹E-mail: selyukova2003810@gmail.com

Целью исследования является описание процесса разработки дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. анализ литературы по современным образовательным технологиям, применяемым в дистанционном обучении,
2. определение ключевых тем и модулей дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, соответствующих актуальным тенденциям в развитии нанотехнологий,
3. разработка методического обеспечения курса, включая теоретические материалы, материалы для контроля знаний и систему оценивания.

Объектом исследования является дистанционное обучение в сфере нанотехнологий. Предметом исследования является процесс разработки дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям.

Методами научного исследования являются анализ научной литературы по теме исследования, проектирование структуры курса по оптическим нанотехнологиям с учётом принципов педагогического дизайна. Материалами исследования являются научные публикации по оптическим нанотехнологиям, платформа дистанционного обучения MOODLE.

Научная новизна исследования заключается в том, что разработан авторский курс по оптическим нанотехнологиям в дистанционном формате.

Гипотеза исследования заключается в том, что если использовать специализированный дистанционный курс по оптическим нанотехнологиям, интегрирующий теоретические материалы и практические задания, то можно повысить эффективность изучения оптических нанотехнологий.

Теоретическая значимость заключается в том, что исследование дополняет педагогическую науку новыми подходами к разработке дистанционных курсов в области высокотехнологичных дисциплин по нанотехнологиям. Практическая значимость заключается в том, что разработанный курс может быть внедрён в программы высшего образования, что позволит расширить доступ к обучению и повысить квалификацию специалистов.

Обзор работ по оптическим нанотехнологиям

Оптическая нанотехнология является быстро развивающейся областью, которая использует уникальные свойства наноструктур для улучшения и инноваций в оптических приложениях. В основе этой технологии лежит способность манипулировать светом в наномасштабе, что достигается за счёт интеграции нанофотонных структур, таких как наномасштабные волноводы и металл-диэлектрические наноструктуры. Эта интеграция обеспечивает разрешение ниже предела дифракции в оптической наноскопии, значительно расширяя возможности визуализации по сравнению с обычной оптической микроскопией [1]. Оптическая наноскопия использует принципы нанофотоники для улучшения пространственно-временного разрешения путём манипулирования светом в наномасштабе, как обсуждается в работе [1], и достигает разрешения ниже предела дифракции. Оптическая нанотехнология относится к применению нанофотоники для улучшения оптических методов визуализации, в частности, посредством оптической наноскопии. Эта область использует наномасштабные структуры, такие как волноводы и металл-диэлектрические наноструктуры, для манипулирования светом в наномасштабе, достигая разрешения ниже предела дифракции. Интегрируя эти нанофотонные элементы с методами визуализации на основе флуоресценции, оптическая нанотехнология значительно улучшает способность исследовать и понимать наноскопический мир,

предоставляя знания, превосходящие возможности обычной оптической микроскопии [1]. Миниатюризация вещества в нанотехнологиях влияет на взаимодействие и распространение света, особенно в металлах и полупроводниках. В нанометаллических средах свет может быть ограничен и сфокусирован за пределами дифракционного предела, создавая интенсивные «горячие точки», которые сильно взаимодействуют с окружающей средой [2]. В работе [2] представлено, как нанотехнологии влияют на оптику, а именно, как миниатюризация материи влияет на взаимодействие и распространение света в материи, особенно и наиболее интересно в металле и полупроводниках. Оптическая нанотехнология включает в себя манипуляцию светом в наномасштабе, используя такие материалы, как нанометаллы и полупроводники, для достижения беспрецедентных оптических свойств. В нанометаллических средах свет может направляться и ограничиваться за пределами обычных пределов, создавая интенсивные «горячие точки». Полупроводниковые нанокристаллы демонстрируют зависящую от размера люминесценцию, что позволяет получать яркие цветные излучения. Эта область позволяет применять её в электронике, биомедицине и сборе энергии, демонстрируя потенциал наномасштабных взаимодействий для революции в оптических технологиях и улучшения взаимодействия света и материи [2]. Кроме того, разработка оптических метаматериалов с помощью методов нанотехнологий, таких как лазерные методы, предлагает масштабируемые и экономически эффективные решения для промышленного оптического производства [3]. Методы нанотехнологий, в частности лазерные методы, исследуются для производства двумерных и трёхмерных метаматериалов, предлагая высокую производительность и низкую стоимость, что делает их перспективными для промышленного оптического производства. В статье [3] обсуждается использование нанотехнологий в производстве оптических метаматериалов, уделяя особое внимание методам создания субмикронных и нанометровых структур, в частности с помощью лазерных методов. Эти методы выделяются своей масштабируемостью и потенциалом для высокой производительности при более низких затратах по сравнению с традиционными методами, такими как электронная литография и обработка сфокусированным ионным пучком. В статье [3] подчёркивает перспективность этих технологических подходов для промышленного оптического производства, что делает их значимыми в области оптической нанотехнологии. Эти достижения дополняются ролью наноструктурированных элементов в создании новых функций для оптической связи, обработки сигналов, визуализации и зондирования [4]. В статье [4] рассматривается роль нанотехнологий с особым акцентом на метаматериалах и нанофотонике неоднородных материалов, состоящих из диэлектрических, полупроводниковых и металлических композиций, для создания новых функций для различных приложений, включая оптическую связь, обработку оптических сигналов, визуализацию и зондирование. Оптическая нанотехнология включает в себя манипуляцию светом в наномасштабе, используя такие материалы, как диэлектрики, полупроводники и металлы, для создания новых функций. Эта область охватывает нанофотонику и метаматериалы, которые обеспечивают прогресс в оптической связи, обработке сигналов, визуализации и зондировании. Используя уникальные свойства наноструктурированных элементов, в статье [4] разрабатываются инновационные оптические устройства, которые повышают производительность и эффективность в различных приложениях, в конечном итоге приводя к значительным улучшениям в технологии и функциональности. Кроме того, электрооптическая нанотехнология, которая включает в себя управление размерами кристаллов и химией поверхности, имеет решающее значение для приложений от детекторов до дисплеев, включая органические светодиоды [5]. В работе [5] показано, что влияние размера металла и квантовой наноструктуры (увеличение размеров увеличит движение носителей заряда) являются основными компонентами теории электронной нанотехнологии. Оптическая нанотехнология, также извест-

ная как нанооптика или нанофотоника, играет дополнительную роль по отношению к микроэлектронике и наноэлектронике в разработке чипов. В работе [5] рассматривается взаимодействие света с наноструктурами, которое имеет решающее значение для таких приложений, как дисплеи и детекторы. Поглощение и испускание света в наноматериалах имеют важное значение для производства органических светодиодов. Ключевые компоненты включают управление размерами кристаллов и химию поверхности для повышения линейности оптических свойств, особенно в полимерно-дисперсных жидких кристаллах [5]. В совокупности эти инновации в оптической нанотехнологии обещают разнообразные приложения в секторах электроники, биомедицины и энергетики, демонстрируя преобразующий потенциал манипулирования светом в наномасштабе.

Оптоволоконная нанотехнология включает применение наноструктурированных материалов и устройств для улучшения оптических систем связи. В контексте передачи электроэнергии она использует сильную оптическую нелинейность третьего порядка и оптическую солитонную связь для повышения эффективности передачи данных. В статье [6] показано, что эта технология поддерживает потери в кабеле связи в стандартных пределах, достигая при этом скорости цифровой связи, превышающей 7000 бит/с, что демонстрирует её надёжность и эффективность в сетях электросвязи. В статье [6] показано, что при применении оптоволоконной нанотехнологии для передачи электроэнергии потери в кабеле связи находятся в стандартном диапазоне, а скорость цифрового интерфейса связи превышает 7000 бит/с в различных объёмах обслуживания, что эффективно подтверждает надёжность оптоволоконной нанотехнологии для передачи электроэнергии.

Оптическая нанотехнология подразумевает использование наноматериалов для эффективного управления светом в различных приложениях, включая борьбу с подделками. Последние достижения в области оптических наноматериалов, такие как наночастицы с апконверсией, обеспечивают уникальные оптические свойства, которые могут быть адаптированы для высокостабильного кодирования информации. Эти материалы могут реагировать на внешние воздействия, позволяя производить скрытые сигналы излучения. Интеграция технологий декодирования на основе смартфонов с этими наноматериалами представляет многообещающие возможности для аутентификации в реальном времени и отслеживания подлинных продуктов, усиливая меры безопасности в различных отраслях. В статье [7] показано, что достижения в разработке и синтезе наночастиц с апконверсией, легированных лантанидами, приведут к следующему поколению технологий борьбы с подделками.

Оптическая нанотехнология включает разработку усовершенствованных оптических наносенсоров и сенсорных устройств, которые обнаруживают изменения оптических свойств из-за взаимодействия молекул и аналитов [8]. Эти датчики используют такие принципы, как поглощение, отражение, люминесценция и флуоресценция в различных спектральных областях. Они характеризуются высокой чувствительностью, быстрым временем отклика и низкими пределами обнаружения, что делает их пригодными для применения в персонализированном мониторинге здоровья, мониторинге окружающей среды и анализе качества продуктов питания. Основные типы включают люминесцентные датчики, датчики поверхностного плазмонного резонанса и квантовые точки. Усовершенствованные оптические наносенсоры преобразуют молекулярные взаимодействия в аналитически полезную информацию на основе интенсивности света. Они измеряют изменения оптических свойств в корреляции с концентрацией аналита и охватывают различные области спектра [8].

Оптическая нанотехнология, также известная как нанооптика или нанофотоника, фокусируется на изучении и применении уникальных оптических свойств наноструктур. Оптическая нанотехнология подразумевает использование наноматериалов и струк-

тур для управления светом и улучшения оптических систем. Оптическая нанотехнология занимается изучением и манипулированием светом в нанометровом масштабе, уделяя особое внимание тому, как объекты нанометрового масштаба взаимодействуют со светом. Эта быстро развивающаяся область удовлетворяет спрос на меньшие, более быстрые и более интегрированные оптические устройства, а также чувствительные детекторы для биомедицинских и экологических приложений. Нанопотоника объединяет множество важных направлений инновационных разработок, включая лазеры, фотovoltaику, биотехнологию, фотонику и нанотехнологию. В последнее время растущий опыт слияния нанотехнологий и фотоники стал фундаментальным, возникая на периферии, бросая вызов базовым экспериментам.

В статье [9] обсуждаются различные механизмы улучшения взаимодействия света и вещества для реализации яркой флуоресценции, комбинационного рассеяния и нелинейного оптического излучения, а также изучаются методологии и различные устройства для высокочувствительного оптического зондирования и обнаружения, сверхвысокого пространственного разрешения изображений и высокоэффективного преобразования энергии между светом и электричеством, теплом и другими формами. Оптическая нанотехнология, или нанопотоника, объединяет нанонауку с оптикой для управления светом в наномасштабе. Нанопотоника фокусируется на улучшении взаимодействия света и вещества с помощью оптических наноструктур, что позволяет использовать такие приложения, как высокочувствительное оптическое зондирование, сверхвысокое пространственное разрешение изображений и эффективное преобразование энергии. Ключевые механизмы включают медленный свет и оптические резонансы, которые улучшают такие явления, как флуоресценция и комбинационное рассеяние. Эта область направлена на достижение крупномасштабной оптической интеграции для передовых технологий обработки информации и энергетики, используя свет в качестве мощного носителя.

Нанопотоника является захватывающей областью нанонауки, которая занимается взаимодействием света с веществом в масштабе микрометров и нанометров, область, в которой фотоника сливается с нанонаукой и нанотехнологией, создавая проблемы для фундаментальных исследований и возможности для новых технологий и приложений. Оптическая нанотехнология, особенно в волоконной оптике, включает в себя интеграцию нанопункций в оптические волокна для управления светом за пределами обычного транспорта. Оптическая нанотехнология включает в себя использование фотонных кристаллических волокон и волокон с полый сердцевиной, которые обладают уникальными свойствами, такими как сверхнизкая оптическая нелинейность и улучшенная управляемая мощность [10]. Эти достижения открывают новые возможности для применения в телекоммуникациях, зондировании и подаче высокой оптической мощности, а также позволяют разрабатывать миниатюрные оптические компоненты, такие как резонаторы и интерферометры, стимулируя инновации в различных областях.

В статье [11] рассматриваются наносистемы, которые потенциально могут быть использованы для офтальмологических приложений, и приводятся некоторые примеры применения нанотехнологий в областях офтальмологических устройств, диагностики и систем доставки генов или лекарств. Оптическая нанотехнология подразумевает использование наноматериалов для улучшения методов визуализации, особенно в офтальмологии. Золотые наночастицы, наноболочки и наноклетки служат перспективными контрастными агентами для оптической когерентной томографии, улучшая качество изображения за счёт усиления отражения света. Их оптические резонансные длины волн можно точно настраивать, что позволяет лучше визуализировать биологические ткани. Это достижение в области оптической нанотехнологии вносит значительный вклад в диагностику и мониторинг глазных заболеваний, предоставляя изображения

поперечного сечения в реальном времени с улучшенной чувствительностью и разрешением.

В работе [12] обсуждается влияние оптики и лазеров на нанотехнологии и то, как миниатюризация материи взаимодействует со светом, а результаты такого рода исследований открывают новые направления исследований и прорывов в приложениях, включая методы наномасштабного производства с использованием лазеров, нанометровых фотонных устройств и высокоэффективного преобразования энергии. Оптическая нанотехнология, часто называемая нанофотоникой или нанооптикой, фокусируется на взаимодействии света с наноразмерными материалами. Эта область изучает, как миниатюризованная материя влияет на поведение света, что приводит к достижениям в таких приложениях, как микроэлектроника, оптоэлектроника, солнечные элементы, датчики и микроскопия [12]. Интеграция лазеров в нанотехнологии облегчает методы наномасштабного производства и разработку фотонных устройств, повышая эффективность преобразования энергии и открывая новые возможности для исследований и технологических прорывов.

В работе [13] обсуждается применение нанотехнологий в оптических сетях, в частности в оптоволоконной связи, инфракрасных детекторах и фотоэлектричестве. В работе [13] подчёркивается использование квантовых точек PbS и кремниевых нанокристаллов, которые могут повысить оптическое усиление и обеспечить лазерную генерацию при комнатной температуре на кремниевых подложках. Интеграция этих наноматериалов в устройства направлена на повышение эффективности сбора света и передачи энергии, решая проблемы переноса заряда через интерфейсы кремний-полимер-квантовая точка для оптоэлектронных приложений. Использование квантовых точек PbS и кремниевых нанокристаллов является возможным материалом, который может быть использован в этих областях, как упоминалось в работе [13], и они использовались в оптоволоконной связи, инфракрасных детекторах и фотоэлектричестве.

Оптическая нанотехнология подразумевает использование наноматериалов для разработки усовершенствованных датчиков, способных обнаруживать загрязнители окружающей среды с высокой чувствительностью и специфичностью [14]. Эти технологии позволяют осуществлять мониторинг загрязнителей в реальном времени в естественных условиях, устраняя необходимость в трудоёмкой подготовке образцов. Недавние достижения в области нанопроизводства и технологий зеленого синтеза привели к созданию компактных, экономически эффективных и экологически чистых оптических биосенсоров. Эти датчики могут обнаруживать ряд токсинов, включая тяжёлые металлы и пестициды, значительно улучшая мониторинг окружающей среды и усилия по управлению загрязнением. Датчики на основе оптических нанотехнологий обеспечивают высокочувствительный и мониторинг загрязнителей окружающей среды в реальном времени в их естественной среде, снижая необходимость в трудоёмкой подготовке образцов [14].

В работе [15] нанофотоника определяется как наномасштабная оптическая наука и технология, которая является новым рубежом, который включает наномасштабное ограничение излучения, наномасштабное ограничение вещества и наномасштабное фотофизическое или фотохимическое преобразование. Оптическая нанотехнология, как исследовано в работе [15] о нанофотонике, включает наномасштабное ограничение излучения и вещества для манипулирования светом в наномасштабе. Эта область включает нелинейные оптические взаимодействия, изучаемые с помощью геометрий ближнего поля, что позволяет контролировать динамику возбуждения и перенос энергии. Кроме того, оптическая нанотехнология охватывает пространственно локализованную фотохимию для приложений в нанопроизводстве и наномасштабной памяти, используя наноструктурированные материалы, такие как легированные редкоземельными элемен-

тами стекла и новые неорганические-органические фоторефрактивные нанокompозиты для достижения локализации фотонов.

Оптическая нанотехнология включает в себя манипуляцию оптическим излучением в наномасштабе, используя такие явления, как локализованный поверхностный плазмонный резонанс для улучшения оптических свойств наночастиц [16]. Эта область имеет важные приложения в здравоохранении, особенно в датчиках и визуализации, а также в терапии рака за счёт эффективного преобразования света в тепло. Различные наночастицы, включая металлические и квантовые точки, играют решающую роль в этих приложениях, обеспечивая автоматизированные и целевые технологии для диагностики и лечения, тем самым устраняя ограничения традиционных методов. Локализованный поверхностный плазмонный резонанс становится многообещающим инструментом для адаптации оптических свойств наночастиц благородных металлов для их применения в датчиках, визуализации, как упоминалось в работе [16].

Синтез и применение оптических наноматериалов стимулируют технологические инновации, продвигая научные дисциплины и отрасли промышленности за счёт новых свойств и функций, с потенциалом в таких областях, как энергетика, медицина и электроника. Оптическая нанотехнология включает синтез и применение наноматериалов, которые манипулируют светом в наномасштабе. Эти материалы демонстрируют уникальные оптические свойства, обеспечивая достижения в различных областях, таких как телекоммуникации, зондирование и визуализация. В статье [17] подчёркивается инновационный потенциал оптических наноматериалов в повышении производительности устройств и создании новых функций, тем самым стимулируя технологический прогресс во многих научных дисциплинах и отраслях. Эта область имеет решающее значение для разработки оптических устройств и систем следующего поколения.

В работе [18] исследуются уникальные возможности и преимущества нанотехнологий в разработке интегрированных фотонных информационных систем следующего поколения, включая фильтры, электрически или оптически управляемые коммутационные ткани, оптические источники, детекторы, усилители. Оптическая нанотехнология включает в себя манипуляцию светом в наномасштабе, используя материалы и структуры, которые проявляют уникальные оптические свойства благодаря своему размеру и геометрии. Эта область позволяет разрабатывать передовые фотонные устройства, такие как субволновые решётки и поверхностные плазмон-поляритоны, которые улучшают такие функциональные возможности, как обработка сигналов и формирование пучка. Интеграция этих нанофотонных компонентов в информационные системы облегчает миниатюризацию и многофункциональность, значительно увеличивая сложность и эффективность оптических схем и систем.

В работе [19] исследуются уникальные возможности и основные преимущества нанотехнологий в разработке интегрированных фотонных чипов следующего поколения, включая фильтры, коммутационные ткани, которые могут управляться как электрически, так и оптически, оптические источники, детекторы, усилители. Оптическая нанотехнология включает разработку наноструктурированных материалов и устройств, которые манипулируют светом в наномасштабе. Эта область фокусируется на создании интегрированных фотонных чипов с такими компонентами, как фильтры, переключатели и детекторы, расширяя функциональные возможности за счёт миниатюризации и взаимодействия в ближнем поле. Ключевые приложения включают управление поляризацией, спектральную фильтрацию и нелинейные оптические эффекты, что позволяет интегрировать их с другими нанотехнологиями, такими как электроника и биология. Исследование уделяет особое внимание разработке искусственных двулучепреломляющих материалов и фотонных кристаллов для современных оптических систем.

В работе [20] исследуется роль нанотехнологий с особым акцентом на нанофотонике

в диэлектрических и неоднородных метаматериалах с приложениями для оптической обработки информации в пространстве и времени, связи и зондирования. Оптическая нанотехнология, в частности нанофотоника, включает в себя манипуляцию светом в наномасштабе с использованием таких материалов, как диэлектрические и неоднородные метаматериалы. Эта область играет решающую роль в продвижении таких приложений, как оптическая обработка информации, связь и зондирование. Используя уникальные свойства наноструктурированных материалов, исследователи могут повысить производительность и эффективность оптических устройств, что приводит к инновациям в различных секторах, включая информационные технологии, здравоохранение и национальную безопасность.

Нанофотоника охватывает широкий спектр нетривиальных физических эффектов, включая взаимодействия света и вещества, которые выходят далеко за пределы дифракции, и открыли новые возможности для различных приложений в технологиях сбора света, зондирования, люминесценции, оптического переключения и передачи данных, как упоминалось в работе [21]. Оптическая нанотехнология является ключевым аспектом нанофотоники, фокусируясь на взаимодействии света и вещества в наномасштабе. Она позволяет разрабатывать устройства, которые манипулируют фотонами инновационными способами, улучшая приложения в области сбора света, зондирования и оптического переключения. Понимая взаимодействия света и вещества за пределами дифракции, исследователи могут создавать наноструктуры, которые улучшают производительность в различных областях, включая материаловедение и биомедицинские технологии, что в конечном итоге приводит к прогрессу в оптических системах и технологиях в повседневной жизни.

В работе [22] рассматривается роль нанотехнологий с акцентом на нанофотонику в диэлектрических, металлических и полупроводниковых неоднородных композиционных материалах, устройствах и подсистемах для оптической связи, обработки информации и сигналов, а также зондирования. Оптическая нанотехнология, в частности в нанофотонике, фокусируется на использовании материалов с неоднородным составом, таких как диэлектрики, металлы и полупроводники, для разработки современных оптических устройств и подсистем. Эта технология позволяет создавать компактные оптические компоненты на кристалле, улучшая интеграцию с электронными системами. Инновации включают нанолазеры и нелинейные импульсные компрессоры, которые используют субволновые характеристики и метаматериалы для оптимизации производительности, уменьшения размера и повышения эффективности для приложений в оптической связи, обработке информации и зондировании.

В работе [23] представлено краткое введение в оптические нанозонды в терминах наноматериалов, единиц распознавания и оптического обнаружения. Оптическая нанотехнология включает разработку оптических нанозондов на основе наноматериалов, которые демонстрируют высокую чувствительность и специфичность для химического и биологического анализа. Эти нанозонды используют различные наноматериалы, такие как золотые и серебряные наночастицы, квантовые точки и графен, которые обладают уникальными оптическими свойствами. Интегрируя единицы распознавания, такие как аптамеры и химические лиганды, эти системы могут переводить целевые взаимодействия в измеримые оптические сигналы, используя такие методы, как колориметрия, спектры в ультрафиолетовой и видимой областях спектра, флуоресценция и поверхностно-усиленное комбинационное рассеяние.

В работе [24] рассматривается роль нанотехнологий с акцентом на нанофотонику в диэлектрических, металлических, полупроводниковых неоднородных композиционных материалах, а также устройствах и подсистемах для оптической связи, обработки информации и сигналов и зондирования. Оптическая нанотехнология, в частности в

нанофотонике, включает в себя манипуляцию светом в наномасштабе с использованием таких материалов, как диэлектрики, металлы и полупроводники. Эта технология позволяет разрабатывать компактные фотонные компоненты, такие как нанолазеры и интегрированные оптические подсистемы, которые улучшают оптическую связь и обработку сигналов. Оптимизируя конструкции резонаторов и включая такие материалы, как кремниевые экраны, в работе [24] можно снизить пороги усиления для эффективной работы при комнатной температуре, прокладывая путь для передовых приложений в информационных системах и оптической интеграции на кристалле.

Проведённый анализ литературы по фундаментальным и прикладным исследованиям оптических нанотехнологий показал актуальность темы исследования.

Результаты разработки курса по оптическим нанотехнологиям

Разработка дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE требует тщательного планирования и поэтапной реализации. Прежде всего, необходимо провести исследование целевой аудитории, выяснив уровень подготовки студентов, их потребности и ожидания, чтобы сформулировать четкие образовательные цели дистанционного курса, такие как освоение фундаментальных принципов оптических нанотехнологий или применение знаний на практике. На основе поставленных целей формируется детальная программа дистанционного курса, включающая модули по основам нанофотоники, методам синтеза наноматериалов, современным оптическим устройствам другим ключевым темам, при этом важно соблюдать логическую последовательность и постепенное усложнение материала. Для каждого модуля подготавливаются лекционные материалы, презентации, видеолекции, научные статьи и ссылки на дополнительные источники, чтобы обеспечить студентам разностороннее погружение в тему, а также методические рекомендации по самостоятельной работе. Чтобы вовлечь обучающихся, в курс включаются интерактивные задания: виртуальные лабораторные работы по моделированию оптических свойств наноструктур, тесты с автоматической проверкой, форумы для обсуждения и кейсы на основе реальных научных исследований. Далее курс интегрируется в MOODLE: создаются структурированные разделы, настраиваются элементы курса (лекции, тесты, задания), выбираются подходящие форматы представления контента (например, SCORM-пакеты или встроенные видео), а также устанавливаются сроки выполнения заданий. Для оценки успеваемости проектируются разноуровневые тесты, курсовые проекты и итоговый экзамен, при этом важно предусмотреть как автоматизированную проверку тестов, так и экспертный анализ развернутых ответов и исследований студентов. Перед запуском курс тестируется на фокус-группе, чтобы выявить технические недочеты, сложность восприятия материалов или логические пробелы, после чего вносятся корректировки в контент и настройки MOODLE. Педагоги и администраторы проходят обучение по работе с курсом в MOODLE, изучая функционал системы, особенности проверки заданий и взаимодействия со студентами, чтобы обеспечить бесперебойное сопровождение учебного процесса. После официального старта курса проводится постоянный мониторинг активности анализ результатов тестов и обратной связи, что позволяет оперативно адаптировать сложные темы или изменять нагрузку. По мере развития оптических нанотехнологий курс регулярно дополняется новыми исследованиями, инструментами виртуальных лабораторий и актуальными кейсами, чтобы оставаться востребованным и соответствовать современным научным трендам. Таким образом, разработка дистанционного курса в MOODLE является динамичным процессом, который требует междисциплинарного подхода, сочетания педагогических и технологических решений для создания качественного образовательного продукта.

Процесс создания структуры и элементов курса по оптическим нанотехнологиям на

результаты анализа элементов других дистанционных курсов по аналогичной тематике [25–33]. В результате выполнения самостоятельной части работы созданы элементы курса по оптическим нанотехнологиям. Приведём описание избранных элементов курса по оптическим нанотехнологиям.

Опишем результаты разработки структуры и элементов дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE. Объём дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям составляет 6 зачетных единиц или 216 часов. Базой исследования для создания дистанционного курса по дисциплине «Оптические нанотехнологии» в системе управления обучением MOODLE является образовательный портал ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова».

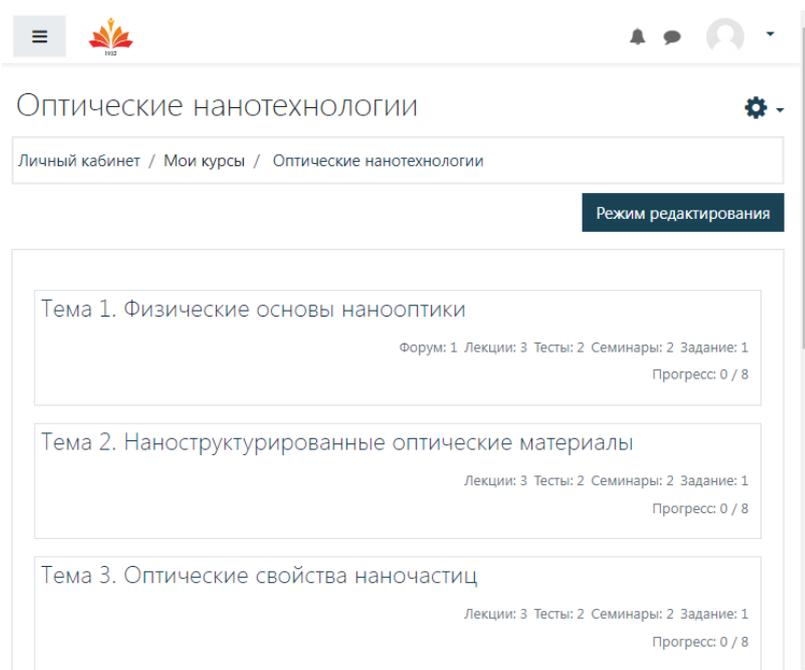


Рис. 1. Страница тематических модулей первой части дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 1 приведено изображение страницы тематических модулей первой части дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 2 приведено изображение страницы тематических модулей второй части дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 3 приведено изображение страницы элементов первой темы дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 4 приведено изображение страницы элементов второй темы дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

Можно подчеркнуть, что специфика курса по оптическим нанотехнологиям осуществляется с помощью компьютера с выходом в Интернет. Возможно применение синхронной и асинхронной методик дистанционного обучения в рамках курса дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям. Существуют особые формы занятий, применяемых в дистанционном обучении. К ним можно отнести чат-занятия и веб-занятия,

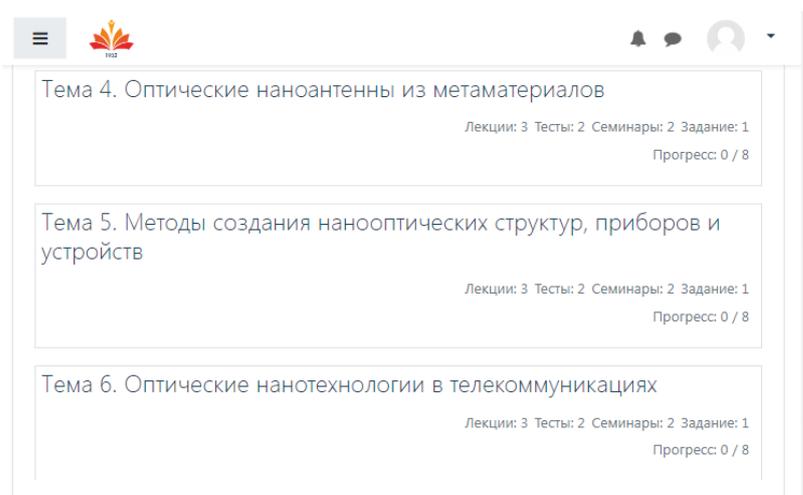


Рис. 2. Страница тематических модулей второй части дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

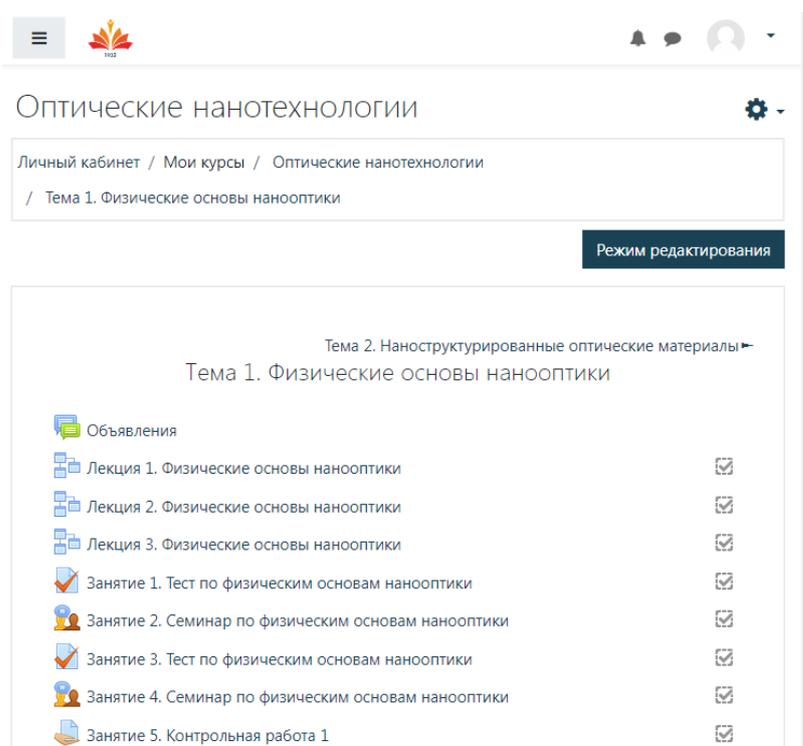


Рис. 3. Страница элементов первой темы дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

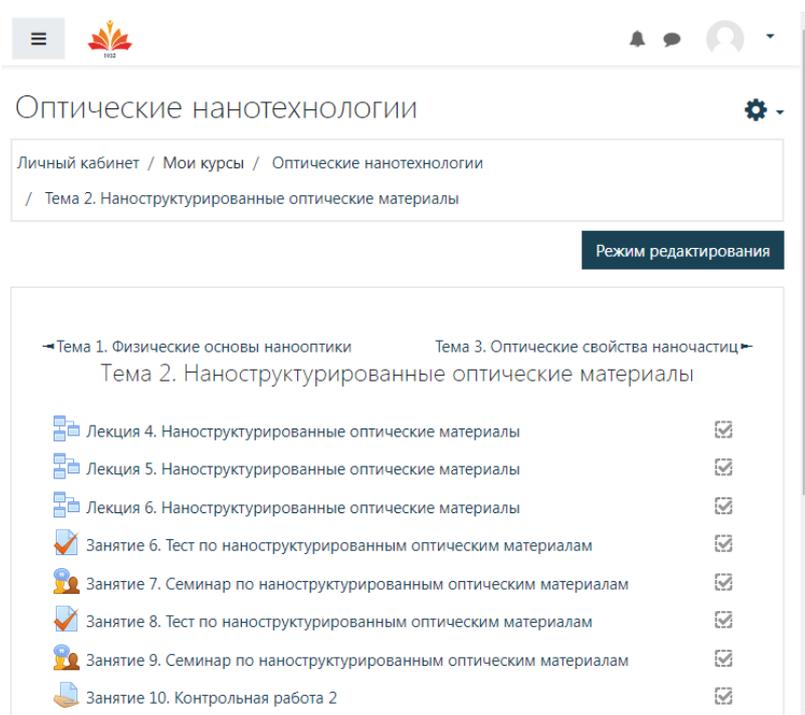


Рис. 4. Страница элементов второй темы дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям, созданного на образовательном портале университета в системе управления обучением MOODLE.

то есть занятия с использованием современных коммуникационных технологий. Эти типы дистанционных занятий подразумевают текстовое, голосовое или видео-общение при изучении дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям. Примером занятия такого типа может послужить проведение видеоконференции для обсуждения заданий дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям. Эта форма наиболее приближена к очному обучению, где преподаватель в режиме реального времени передаёт информацию обучающимся, задаёт и отвечает на вопросы по заданиям дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям. Для осуществления данного вида уроков существует множество программ таких, как Zoom, Skype для осуществления видеосвязи, интерактивные доски для совместных записей в ходе обсуждения решения задач по оптическим нанотехнологиям. Современные платформы позволяют записывать занятия, чтобы можно было в удобное время пересмотреть, повторить материал, что является несомненным плюсом, по сравнению с традиционным методом аудиторного обучения. Когда невозможно провести онлайн занятия, используется методика асинхронного дистанционного обучения. При применении данной методики больше ответственности за прохождение обучения возлагается на самостоятельность обучающегося. На первый план выдвигается самообучение, индивидуальный темп обучения, а также регулирования темпа обучающегося. Ещё одним положительным моментом дистанционной формы обучения оптическим нанотехнологиям является то, что обучающиеся могут выполнять задания в удобное для них время с необходимыми перерывами.

Разработка дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE является динамичным процессом, требующим междисциплинарного подхода, сочетания педагогических и технологических решений для создания качественного дистанционного курса.

Заключение

Результаты разработки дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям вносят вклад в развитие теории и методики дистанционного обучения в области нанотехнологий.

Выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. проведённый анализ литературы по фундаментальным и прикладным исследованиям оптических нанотехнологий показал актуальность темы исследования,
2. дистанционный курс по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE включает как теоретические модули, так и задания по оптическим нанотехнологиям и нанофотонике,
3. дистанционный курс по оптическим нанотехнологиям готов к использованию в образовательных программах педагогического университета с профилем по физике и математике, или с профилем по физике и информатике.

Показано, что разработка дистанционного курса по оптическим нанотехнологиям в системе управления обучением MOODLE является динамичным процессом, который требует междисциплинарного подхода, сочетания педагогических и технологических решений для создания качественного образовательного продукта.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать специализированный дистанционный курс по оптическим нанотехнологиям, интегрирующий теоретические материалы и практические задания, то можно повысить эффективность изучения оптических нанотехнологий, подтверждена полностью.

Задачи работы решены полностью.

Теоретические материалы курса по оптическим нанотехнологиям систематизировали и актуализировали знания о нанофотонике. Исследование дополняет педагогическую науку новыми подходами к разработке дистанционных курсов в области высокотехнологичных дисциплин по нанотехнологиям.

Разработанный курс по оптическим нанотехнологиям может быть внедрён в программы высшего образования, что позволит расширить доступ к обучению в области нанотехнологий.

Список использованных источников

1. Lee Yeon Ui. Optical nanoscopy enabled by nanophotonics // Physics and high technology. — 2023. — mar. — Vol. 32, no. 3. — P. 10–15. — URL: <http://dx.doi.org/10.3938/phit.32.006>.
2. Nayfeh Munir H. Optics in nanotechnology // Optics in our time. — Springer International Publishing, 2016. — P. 223–264. — ISBN: 9783319319032. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-31903-2_10.
3. Prospects for the use of nanotechnology for the manufacture of optical metanaterials / D. O. Volpyan [et al.] // International journal of engineering and technology. — 2018. — dec. — Vol. 7, no. 4.36. — P. 69–71. — URL: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.36.23314>.
4. Fainman Y. Nanostructured elements in active and passive optical technologies // OSA Optical design and fabrication 2021 (Flat optics, freeform, IODC, OFT). — Flatoptics. — Optica Publishing Group, 2021. — P. FTu3C.1. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/FLATOPTICS.2021.FTu3C.1>.

5. Electronic and electro-optic nanotechnology / Yaser Dahman [et al.] // Nanotechnology and functional materials for engineers.— Elsevier, 2017.— P. 191–206.— ISBN: 9780323512565.— URL: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-51256-5.00009-5>.
6. Application of optical fiber nanotechnology in power communication transmission / Hongsheng Yu [et al.] // Alexandria engineering journal.— 2020.— dec.— Vol. 59, no. 6.— P. 5019–5030.— URL: <http://dx.doi.org/10.1016/J.AEJ.2020.09.025>.
7. Optical nanomaterials and enabling technologies for high-security-level anticounterfeiting / Wei Ren [et al.] // Advanced materials.— 2019.— jun.— Vol. 32, no. 18.— URL: <http://dx.doi.org/10.1002/ADMA.201901430>.
8. Advanced optical nanosensors / Juan Matmin [et al.] // Handbook of Nanosensors.— Springer Nature Switzerland, 2023.— oct.— P. 1–36.— ISBN: 9783031163388.— URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-16338-8_30-1.
9. Li Zhi-Yuan. Optics and photonics at nanoscale: Principles and perspectives // EPL (Europhysics Letters).— 2015.— mar.— Vol. 110, no. 1.— P. 14001.— URL: <http://dx.doi.org/10.1209/0295-5075/110/14001>.
10. DiGiovanni David J., Li Ming-Jun, Willner Alan E. Fiber optic nanotechnology: a new frontier of fiber optics // Nanophotonics.— 2013.— dec.— Vol. 2, no. 5–6.— P. 311–313.— URL: <http://dx.doi.org/10.1515/NANOPH-2013-0053>.
11. Raghava Swita, Goel Gaurav, Kompella Uday B. Ophthalmic applications of nanotechnology // Ocular transporters in ophthalmic diseases and drug delivery.— Humana Press, 2008.— P. 415–435.— ISBN: 9781597453752.— URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-59745-375-2_22.
12. Laser, nanoparticles, and optics / Parvathy Nancy [et al.] // Nano-Optics.— Elsevier, 2020.— P. 47–65.— ISBN: 9780128183922.— URL: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818392-2.00004-4>.
13. Sargent E. H. Nanotechnology for optical networks // 2006 Optical fiber communication conference and the national fiber optic engineers conference.— IEEE, 2006.— P. 1–3.— URL: <http://dx.doi.org/10.1109/OFC.2006.215884>.
14. Optical nanotechnology-based sensors for environmental contaminants' detection / Ramachandra Naik [et al.] // Nanotechnology-based sensors for detection of environmental pollution.— Elsevier, 2024.— P. 137–153.— ISBN: 9780443141188.— URL: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-443-14118-8.00008-5>.
15. Nanophotonics: nanoscale optical science and technology / Paras N. Prasad [et al.] // Frontiers of nano-optoelectronic systems.— Springer Netherlands, 2000.— P. 1–10.— ISBN: 9789401008907.— URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-0890-7_1.
16. Nano-optics for healthcare applications / Blessy Joseph [et al.] // Nano-Optics.— Elsevier, 2020.— P. 33–46.— ISBN: 9780128183922.— URL: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818392-2.00003-2>.
17. Jun Bong-Hyun. Synthesis and application of optical nanomaterials // Nanomaterials.— 2024.— nov.— Vol. 14, no. 23.— P. 1904.— URL: <http://dx.doi.org/10.3390/nano14231904>.

18. Nanophotonics for integrated information systems / Uriel Levy [et al.] // Optoelectronic integrated circuits VIII / Ed. by Louay A. Eldada, El-Hang Lee. — Vol. 6124. — SPIE, 2006. — feb. — P. 612404. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.655704>.
19. Nanophotonics: materials and devices / Uriel Levy [et al.] // Quantum sensing and nanophotonic devices / Ed. by Manijeh Razeghi, Gail J. Brown. — Vol. 5359. — SPIE, 2004. — jul. — P. 126. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.516209>.
20. Fainman Y. Ultrafast and nanoscale optics // Conference on lasers and electro-optics/international quantum electronics conference. — CLEO. — OSA, 2009. — P. CThF4. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/CLEO.2009.CThF4>.
21. Nanophotonics: fundamentals, challenges, future prospects and applied applications / Muhammad Aamir Iqbal [et al.] // Nonlinear optics - nonlinear nanophotonics and novel materials for nonlinear optics. — IntechOpen, 2022. — mar. — ISBN: 9781839628368. — URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.98601>.
22. Fainman Y. Nanophotonics technology and applications // 2013 IEEE avionics, fiber-optics and photonics technology conference (AVFOP). — IEEE, 2013. — oct. — P. 61–62. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/AVFOP.2013.6661623>.
23. A brief introduction to optical nanoprobe / Lingxin Chen [et al.] // Novel optical nanoprobe for chemical and biological analysis. — Springer Berlin Heidelberg, 2014. — P. 1–7. — ISBN: 9783662436240. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-43624-0_1.
24. Gu Qing, Fainman Y. Nanophotonics technology and applications // 2013 Conference on lasers and electro-optics pacific rim (CLEOPR). — IEEE, 2013. — jun. — P. 1–2. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/CLEOPR.2013.6600059>.
25. Карасева П. П. Разработка онлайн-курса по физике наносистем и наноустройств в современных технологиях // Наука online. — 2024. — № 3 (28). — С. 39–51. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2024/09/03282024-003.pdf>.
26. Алтунин К. К., Колесова Т. А. Разработка элементов дистанционного курса по физической наноэлектронике в системе управления обучением MOODLE // Наука online. — 2022. — № 1 (18). — С. 88–112. — URL: <https://elibrary.ru/dutumg>.
27. Алтунин К. К., Шленкина Е. А. Разработка информационной системы поддержки изучения темы по оптике метаматериалов в составе курса по нанооптике // Наука online. — 2022. — № 2 (19). — С. 75–88. — URL: <https://elibrary.ru/pticsm>.
28. Алтунин К. К., Лебедев А. А. Разработка дистанционного курса по нанопизике в системе управления обучением MOODLE // Наука online. — 2022. — № 2 (19). — С. 60–74. — URL: <https://elibrary.ru/mpcxsb>.
29. Алтунин К. К., Сорокина Е. О. Разработка материалов занятия по оптике наноккомпозитных материалов в курсе по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий // Наука online. — 2022. — № 2 (19). — С. 18–30. — URL: <https://elibrary.ru/wgfhkb>.
30. Алтунин К. К. Разработка компьютерного сопровождения изучения темы по спайзерам в курсе нанооптики // Наука online. — 2018. — № 4 (5). — С. 74–93. — URL: <https://elibrary.ru/pvxfxn>.

31. Алтунин К. К., Петрова Е. А. Разработка модульной структуры дистанционного курса «Оптика метаматериалов» в системе управления обучением MOODLE // Наука online. — 2019. — № 1 (6). — С. 50–70. — URL: <https://elibrary.ru/pgpsft>.
32. Алтунин К. К., Карташова А. А. Разработка электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике // Наука online. — 2019. — № 2 (7). — С. 15–32. — URL: <https://elibrary.ru/omnoyk>.
33. Сорокина Е. С. Результаты создания сайта по электрическим явлениям в курсе физики основной школы // Наука online. — 2022. — № 3 (20). — С. 109–124. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2023/01/03202022-007.pdf>.

Сведения об авторах:

Анастасия Денисовна Селюкова — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: selyukova2003810@gmail.com

ORCID iD  0009-0003-6886-9490

Web of Science ResearcherID  ISA-2143-2023

Original article
PACS 01.40.Di
OCIS 000.2060
MSC 00A79

Development of a distance learning course on optical nanotechnology

A. D. Selukova 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted June 17, 2025

Resubmitted June 25, 2025

Published September 30, 2025

Abstract. The results of developing a distance learning course on optical nanotechnology in the learning management system MOODLE are presented. The aim of the study is to describe the process of developing a distance learning course on optical nanotechnology in the learning management system MOODLE. The results of developing the structure and elements of the distance learning course on optical nanotechnology in the learning management system MOODLE are described. The length of the distance learning course on optical nanotechnology is 6 credits or 216 hours.

Keywords: nanotechnology, nanoelectronics, photonics, distance learning course, distance learning, learning management system, personnel training

References

1. Lee Yeon Ui. Optical nanoscopy enabled by nanophotonics // Physics and high technology. — 2023. — mar. — Vol. 32, no. 3. — P. 10–15. — URL: <http://dx.doi.org/10.3938/phit.32.006>.
2. Nayfeh Munir H. Optics in nanotechnology // Optics in our time. — Springer International Publishing, 2016. — P. 223–264. — ISBN: 9783319319032. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-31903-2_10.
3. Prospects for the use of nanotechnology for the manufacture of optical metanaterials / D. O. Volpyan [et al.] // International journal of engineering and technology. — 2018. — dec. — Vol. 7, no. 4.36. — P. 69–71. — URL: <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i4.36.23314>.
4. Fainman Y. Nanostructured elements in active and passive optical technologies // OSA Optical design and fabrication 2021 (Flat optics, freeform, IODC, OFT). — Flatoptics. — Optica Publishing Group, 2021. — P. FTu3C.1. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/FLATOPTICS.2021.FTu3C.1>.
5. Electronic and electro-optic nanotechnology / Yaser Dahman [et al.] // Nanotechnology and functional materials for engineers. — Elsevier, 2017. — P. 191–206. — ISBN: 9780323512565. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-51256-5.00009-5>.

6. Application of optical fiber nanotechnology in power communication transmission / Hongsheng Yu [et al.] // Alexandria engineering journal. — 2020. — dec. — Vol. 59, no. 6. — P. 5019–5030. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/J.AEJ.2020.09.025>.
7. Optical nanomaterials and enabling technologies for high-security-level anticounterfeiting / Wei Ren [et al.] // Advanced materials. — 2019. — jun. — Vol. 32, no. 18. — URL: <http://dx.doi.org/10.1002/ADMA.201901430>.
8. Advanced optical nanosensors / Juan Matmin [et al.] // Handbook of Nanosensors. — Springer Nature Switzerland, 2023. — oct. — P. 1–36. — ISBN: 9783031163388. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-16338-8_30-1.
9. Li Zhi-Yuan. Optics and photonics at nanoscale: Principles and perspectives // EPL (Europhysics Letters). — 2015. — mar. — Vol. 110, no. 1. — P. 14001. — URL: <http://dx.doi.org/10.1209/0295-5075/110/14001>.
10. DiGiovanni David J., Li Ming-Jun, Willner Alan E. Fiber optic nanotechnology: a new frontier of fiber optics // Nanophotonics. — 2013. — dec. — Vol. 2, no. 5–6. — P. 311–313. — URL: <http://dx.doi.org/10.1515/NANOPH-2013-0053>.
11. Raghava Swita, Goel Gaurav, Kompella Uday B. Ophthalmic applications of nanotechnology // Ocular transporters in ophthalmic diseases and drug delivery. — Humana Press, 2008. — P. 415–435. — ISBN: 9781597453752. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-59745-375-2_22.
12. Laser, nanoparticles, and optics / Parvathy Nancy [et al.] // Nano-Optics. — Elsevier, 2020. — P. 47–65. — ISBN: 9780128183922. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818392-2.00004-4>.
13. Sargent E. H. Nanotechnology for optical networks // 2006 Optical fiber communication conference and the national fiber optic engineers conference. — IEEE, 2006. — P. 1–3. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/OFC.2006.215884>.
14. Optical nanotechnology-based sensors for environmental contaminants' detection / Ramachandra Naik [et al.] // Nanotechnology-based sensors for detection of environmental pollution. — Elsevier, 2024. — P. 137–153. — ISBN: 9780443141188. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-443-14118-8.00008-5>.
15. Nanophotonics: nanoscale optical science and technology / Paras N. Prasad [et al.] // Frontiers of nano-optoelectronic systems. — Springer Netherlands, 2000. — P. 1–10. — ISBN: 9789401008907. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-0890-7_1.
16. Nano-optics for healthcare applications / Blessy Joseph [et al.] // Nano-Optics. — Elsevier, 2020. — P. 33–46. — ISBN: 9780128183922. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-818392-2.00003-2>.
17. Jun Bong-Hyun. Synthesis and application of optical nanomaterials // Nanomaterials. — 2024. — nov. — Vol. 14, no. 23. — P. 1904. — URL: <http://dx.doi.org/10.3390/nano14231904>.
18. Nanophotonics for integrated information systems / Uriel Levy [et al.] // Optoelectronic integrated circuits VIII / Ed. by Louay A. Eldada, El-Hang Lee. — Vol. 6124. — SPIE, 2006. — feb. — P. 612404. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.655704>.

19. Nanophotonics: materials and devices / Uriel Levy [et al.] // Quantum sensing and nanophotonic devices / Ed. by Manijeh Razeghi, Gail J. Brown. — Vol. 5359. — SPIE, 2004. — jul. — P. 126. — URL: <http://dx.doi.org/10.1117/12.516209>.
20. Fainman Y. Ultrafast and nanoscale optics // Conference on lasers and electro-optics/international quantum electronics conference. — CLEO. — OSA, 2009. — P. CThF4. — URL: <http://dx.doi.org/10.1364/CLEO.2009.CThF4>.
21. Nanophotonics: fundamentals, challenges, future prospects and applied applications / Muhammad Aamir Iqbal [et al.] // Nonlinear optics - nonlinear nanophotonics and novel materials for nonlinear optics. — IntechOpen, 2022. — mar. — ISBN: 9781839628368. — URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.98601>.
22. Fainman Y. Nanophotonics technology and applications // 2013 IEEE avionics, fiber-optics and photonics technology conference (AVFOP). — IEEE, 2013. — oct. — P. 61–62. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/AVFOP.2013.6661623>.
23. A brief introduction to optical nanoprobe / Lingxin Chen [et al.] // Novel optical nanoprobe for chemical and biological analysis. — Springer Berlin Heidelberg, 2014. — P. 1–7. — ISBN: 9783662436240. — URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-43624-0_1.
24. Gu Qing, Fainman Yeshaiahu. Nanophotonics technology and applications // 2013 Conference on lasers and electro-optics pacific rim (CLEOPR). — IEEE, 2013. — jun. — P. 1–2. — URL: <http://dx.doi.org/10.1109/CLEOPR.2013.6600059>.
25. Karaseva P. P. Development of an online course on the physics of nanosystems and nanodevices in modern technologies // Science online. — 2024. — no. 3 (28). — P. 39–51. — URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2024/09/03282024-003.pdf>.
26. Altunin K. K., Kolesova T. A. Development of elements of a distance learning course on physical nanoelectronics in the learning management system MOODLE // Science online. — 2022. — no. 1 (18). — P. 88–112. — URL: <https://elibrary.ru/dutumg>.
27. Altunin K. K., Shlenkina E. A. Development of an information system to support the study of the topic of metamaterials as part of a course on nanooptics // Science online. — 2022. — no. 2 (19). — P. 75–88. — URL: <https://elibrary.ru/pticsm>.
28. Altunin K. K., Lebedev A. A. Development of a distance learning course on nanophysics in the learning management system MOODLE // Science online. — 2022. — no. 2 (19). — P. 60–74. — URL: <https://elibrary.ru/mpcxsb>.
29. Altunin K. K., Sorokina E. O. Development of lesson materials on the optics of nanocomposite materials in a course on the optics of thin-film and nanostructured coatings // Science online. — 2022. — no. 2 (19). — P. 18–30. — URL: <https://elibrary.ru/wgfhkb>.
30. Altunin K. K. Development of computer support for studying the topic of spasers in a course on nanooptics // Science online. — 2018. — no. 4 (5). — P. 74–93. — URL: <https://elibrary.ru/pvxfxn>.
31. Altunin K. K., Petrova E. A. Development of a modular structure for the distance learning course “Optics of metamaterials” in the learning management system MOODLE // Science online. — 2019. — no. 1 (6). — P. 50–70. — URL: <https://elibrary.ru/pgpsft>.

32. Altunin K. K., Kartashova A. A. Development of an electronic educational resource on solar energy // Science Online.— 2019.— no. 2 (7).— P. 15–32.— URL: <https://elibrary.ru/omnoyk>.
33. Sorokina E. S. Results of creating a website on electrical phenomena in a basic school physics course // Science online.— 2022.— no. 3 (20).— P. 109–124.— URL: <http://nauka-online.ru/wp-content/uploads/2023/01/03202022-007.pdf>.

Information about authors:

Anastasia Denisovna Selyukova — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: selyukova2003810@gmail.com

ORCID iD  0009-0003-6886-9490

Web of Science ResearcherID  ISA-2143-2023