

Физико-математические науки

УДК 53.01

ББК 74.262.23

Разработка электронного образовательного ресурса по оптике "левых" сред в системе Intranet Academic

Алтунин Константин Константинович,

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», г. Ульяновск, Россия

Шарнина Инна Алексеевна,

студентка 4 курса факультета физико-математического и технологического образования, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Рассматриваются результаты разработки электронного образовательного ресурса по оптике "левых" сред в системе Intranet Academic, предназначенной для автоматизации управления учебным процессом университета на платформе Microsoft SharePoint. Электронный образовательный ресурс по оптике "левых" сред имеет структуру сайта. В работе рассматриваются особенности процесса разработки электронного образовательного ресурса, предназначенного для информационной поддержки курса «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic. Электронный образовательный ресурс по оптике "левых" сред может быть использован в вузовском курсе теоретической физики. Выполнено описание основных функциональных возможностей электронного образовательного ресурса по оптике "левых" сред, созданного в системе Intranet Academic.

Обсуждаются возможности модульной структуры электронного образовательного ресурса по оптике "левых" сред.

Ключевые слова: оптика, оптическая среда, "левая" среда, метаматериал, электронный образовательный ресурс, Intranet Academic, Microsoft SharePoint

В настоящее время получают распространение электронные курсы и электронные образовательные ресурсы по учебным дисциплинам в рамках университетских образовательных программ. Дистанционные курсы по учебным дисциплинам в рамках университетских образовательных программ позволяют привлекать большое количество заинтересованных слушателей.

В работе рассматриваются теоретические и методические особенности процесса разработки электронного образовательного ресурса, предназначенного для информационной поддержки курса «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic, который может быть использован в вузовском курсе физики. Intranet Academic является одной из современных систем автоматизации управления учебным процессом университета на платформе Microsoft SharePoint.

Целью исследования является описание научно-методических основ разработки электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред». Задача исследования состоит в разработке модульной структуры и банка вопросов электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред». Объектом исследования является курс «Оптика "левых" сред». Предметом исследования является процесс создания информационных и контролирующих элементов электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic. Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic, то можно

облегчить труд преподавателя в процессе преподавания учебной дисциплины и процессе оценивания результатов изучения учебной дисциплины.

Недавно предложенные искусственные среды с отрицательной магнитной проницаемостью и левосторонние метаматериалы вновь рассматриваются в свете теории искусственных бианизотропных сред. В частности, в работе [1] исследовано существование бианизотропных эффектов в этих материалах с использованием приближенной модели, а также выделены некоторые необъяснимые свойства распространения электромагнитных волн в этих средах. Эти особенности правильно объясняются, если бианизотропия левостороннего метаматериала учтена в явном виде. Бианизотропия связана с существованием магнитоэлектрической связи в искусственных составляющих (искусственных атомах) среды.

Недавно было показано, что конструкции пассивных линз могут сохранять идеальное линзирование, несмотря на собственные потери в составе левых материалов. В работе [2] показано, что сохранение энергии не противоречит работе таких идеальных линз с потерями: необратимая передача электромагнитной энергии материалу с потерями диктует, что меньшая часть энергии, излучаемой источником, поступает на изображение, но точность изображения абсолютно сохраняется. Кроме того, мощность излучения, которая действительно достигает идеального изображения, должна уменьшаться вдали от системы. Показано, что это применимо к любой многослойной идеальной линзе на основе левого носителя, включая хорошо известную линзу Веселаго. Для объектива Максвелла с «рыбьим глазом» расход энергии универсален для всех идеальных объективов и присущ любому идеальному изображению. Поэтому правильное рассмотрение этой уникальной динамики силы имеет важное значение для любой успешной практической реализации идеальных линз из существующих метаматериалов.

В работе [3] осуществлена локализация электромагнитных волн и энергий, используя левую линию передачи суперлинзы. Подробно описана процедура создания сред для правой и левой линий электропередачи, которые

соответствуют вакууму и слегка несовпадающему антивакууму соответственно. После надлежащего проектирования и правильного согласования с нагрузками на клеммах рассмотрен результат создания суперлинзы, использующей левую линию передачи. С помощью моделирования СВЧ-цепей с использованием усовершенствованной системы проектирования показано, что почти все электромагнитные поля и энергии ограничены в области между двумя источниками напряжения с одинаковой амплитудой и антифазами, когда они размещены на изображении точки суперлинзы. В результате моделирования чётко наблюдаются сильные поверхностные волны, что согласуется с теоретическим анализом суперлинзы из однородного левого материала с небольшими потерями. Здесь небольшие потери вызваны пространственной дисперсией сетей линий электропередачи. Различные несоответствия антивакуума для левых сред приводят к разным характеристикам суперлинзы, которые определяются параметрами схемы.

В статье [4] развивается электромагнитная теория, описывающая природу параметрической локализации света, которая проявляется в метаматериалах или фотонных кристаллах соответствующего дизайна, демонстрирующих нелинейное левостороннее поведение. Помехи между сходящимися фазово-согласованными и расходящимися противофазно-согласованными волнами создают локализованную волну второй гармоники, сфокусированную на излучателе накачки в масштабе половины длины волны. Этот захват света сопровождается усилением интенсивности второй гармоники, которая линейно увеличивается с размером двумерной области.

В статье [5] предсказано, что два электронных пучка могут развить нестабильность при прохождении через пластину из левосторонних сред. Эта нестабильность, присущая только левосторонним средам, возникает из-за обратного черенковского излучения и приводит к автомодуляции пучков и излучению электромагнитных волн. Эти волны покидают образец через заднюю поверхность пластины (плоскость инъекции луча) и образуют два смещенных ярких круга с центром в лучах. Моделируемый спектр излучения

имеет хорошо разделённые линии сверху широкого непрерывного спектра, что указывает на динамический хаос в системе. Интенсивность излучения и его спектр могут контролироваться либо током пучка, либо расстоянием между двумя пучками.

В статье [6] импульс электромагнитной волны получается для среды Лоренца и применяется для изучения передачи импульса стационарным, изотропным левосторонним материалам. Модель включает дисперсию материала и потери, которые необходимы для среды с отрицательным показателем преломления. Результаты обеспечивают строгое доказательство силы на свободные токи в среде с потерями и подтверждение теоретического разделения силы на основе действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости и магнитной проницаемости. Полученная теорема сохранения импульса электромагнитной волны доказывает, что поток импульса монохроматической волны в изотропном левостороннем материале противоположен направлению потока энергии электромагнитной волны. Однако плотность импульса электромагнитной волны в среде с потерями и с отрицательным показателем преломления может быть параллельной или антипараллельной потоку мощности энергии электромагнитной волны. Полученные результаты применяются для прогнозирования изменения давления излучения на свободные токи в материале с отрицательным показателем преломления. Кроме того, сохранение импульса на границе материала означает, что тангенциальная составляющая импульса электромагнитной волны сохраняется. Таким образом, на границе между изотропными средами электромагнитная сила сдвига отсутствует, независимо от знака показателя преломления.

В работе [7] рассматривается существование и свойства гибридных поверхностных волн, образующихся на границах раздела между левосторонними материалами и диэлектрическими двулучепреломляющими средами. Установлено, что условия существования таких волн сильно ослаблены по сравнению с волнами Дьяконова, существующими в

правосторонних средах. Левосторонние материалы вызывают сосуществование нескольких поверхностных решений, которые характеризуются повышенной степенью локализации. Примечательно, что гибридные поверхностные моды появляются для больших областей в пространстве параметров, что является ключевым свойством с точки зрения их экспериментального наблюдения.

В работе [8] показано, что поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль двумерных (2D) интерфейсов, разделяющих разные метаматериалы, могут вести себя аналогично трёхмерным электромагнитным волнам в обычных или левосторонних средах, в зависимости от проницаемости и / или диэлектрической проницаемости двух материалов, образующих границу раздела сред. Получены условия, когда поверхностные электромагнитные волны, распространяющиеся вдоль двумерных (2D) интерфейсов, переносят энергию, противоположную фазовой скорости. По аналогии с трёхмерными (3D) левосторонними средами получено, как аномальное черенковское излучение, так и обратный эффект Доплера. Отрицательное преломление на границе раздела между двумя различными границами раздела сред может быть полезно для идеального 2D-линзирования.

В работе [9] изучена кольцевая полость, заполненная пластиной из правого материала и пластиной из левого материала. Предполагается, что оба слоя являются нелинейными керровскими средами. Сначала выведена модель распространения света в левостороннем материале. Построив модель действующего поля, показано, что знак дифракции можно сделать положительным или отрицательным в этом резонаторе, в зависимости от толщины слоёв. Динамическое поведение модуляционной неустойчивости сильно зависит от знака коэффициента дифракции. При изучении диссипативных структур в этом резонаторе выявлено преобладание двумерного процесса повышающего переключение над образованием

пространственно-периодических структур, приводящих к усечению однородного цикла гистерезиса.

В статье [10] показано, что в плоском волноводе, возбуждаемом линейным источником, можно управлять бесконечными модами, генерировать и передавать бесконечную плотность мощности, если волновод заполнен двухслойной средой одинаковой толщины, в которой одна из сред представляет собой воздух, а другая из сред является левосторонней средой. Чрезвычайно высокая плотность мощности может генерироваться и передаваться, когда плоский волновод, возбуждаемый линейным источником, содержит небольшие потери, и высокая мощность всё ещё может быть достигнута, даже если существуют относительно большие задержки и потери.

Одноосно анизотропные киральные среды довольно легко реализовать искусственно, где киральность проявляется только в одном направлении. В работе [11] исследованы преломляющие свойства плоской волны, падающей из свободного пространства в такие одноосно киральные среды. Разные отрицательные фазовые или групповые преломления происходят в одной или двух собственных волнах одновременно или по отдельности. Следовательно, одноосно-киральные среды могут поддерживать больше видов отрицательных преломлений, чем изотропные киральные среды и левосторонние материалы. В одноосном киральном предложении условие реализации отрицательного преломления может быть довольно свободным.

Отрицательная рефракция — это явление, о котором недавно сообщалось в случае левосторонних сред (изотропных или нет), фотонных кристаллов и вращающихся одноосных сред. В работе [12] идентифицировано другое происхождение отрицательного преломления из-за движения передаваемой среды параллельно границе раздела, на котором происходит преломление. Предыдущие работы в этой области были сосредоточены на скоростях среды, которые превышают черенковский предел, в то время как здесь показано, что отрицательное преломление фактически достижимо при любых скоростях проходящей среды.

Из уравнений Максвелла и теоремы Пойнтинга, плотности электрической и магнитной энергии во временной области обычно определяются в частотно-дисперсионных средах на основе сохранения энергии. Как следствие, предлагается общее определение электрической и магнитной энергии. По сравнению с существующими формулами электрической и магнитной энергии в частотно-дисперсионных средах, новое определение более разумно и действительно в любом случае. В работе [13] показано, что сохранение энергии не нарушается в левосторонних средах.

В статье [14] представлена схема квантования электромагнитного поля, взаимодействующего с атомными системами в присутствии рассеивающих и поглощающих магнитодиэлектрических сред, в том числе левостороннего материала, имеющего отрицательную вещественную часть показателя преломления. Теория применяется к спонтанному распаду двухуровневого атома в центре сферической полости в свободном пространстве, окруженной магнитодиэлектрическим веществом перекрывающихся энергетических зон. Представлены результаты для больших и малых полостей, а также проблема локальных полевых поправок в модели реальной полости.

В работе [15] изучена передача на границе раздела между правосторонней средой и частотно-дисперсионной левосторонней средой. Чтобы учесть дисперсию, рассматриваются два типа спектров сигнала. Первая состоит из двух дискретных частот, а вторая является гауссовой. Получены явные выражения для полей временной области, из которых рассчитываются усредненные по времени векторы Пойнтинга и, следовательно, векторы потока мощности. В обоих случаях волны преломляются под отрицательными углами на границе раздела между правосторонней средой и частотно-дисперсионной левосторонней средой.

На микроволновых частотах полые металлические волноводы ведут себя в определённых аспектах как «одномерная плазма». Эта функция будет выгодно использоваться для моделирования распространения электромагнитных волн в левосторонних метаматериалах при условии, что

полый волновод периодически нагружается расщепленным кольцевые резонаторы. В работе [16] показано, что электромагнитная передача в этой структуре возможна в определенной полосе частот, даже если поперечные размеры волновода намного меньше, чем соответствующая длина волны в свободном пространстве. Этот эффект может быть качественно и количественно объяснен теорией левого метаматериала, таким образом обеспечивая новую экспериментальную проверку такой теории.

В статье [17] исследованы особенности распространения электромагнитных волн в одноосно-анизотропных левосторонних средах. Обсуждается, при каких условиях аномальное отражение или преломление должно происходить на границе раздела, когда распространяющиеся волны переходят из одной изотропной регулярной среды в другую одноосно-анизотропную левостороннюю среду, и при каких условиях происходит аномальная передача, когда мимолётная волна передается через пластину одноосная анизотропная левосторонняя среда. Показано, что характеристики распространения электромагнитных волн в одноосно-анизотропных левосторонних средах существенно отличаются от характеристик в изотропных левосторонних средах.

Метаматериалы являются искусственными материалами с субволновыми элементарными ячейками, которые открывают многообещающие возможности для передачи электромагнитных волн. Идеальная суперлинза в виде пластины с отрицательным показателем преломления может создать идеальное изображение [18]. Гиперлинза, созданная из гиперболического метаматериала с неопределённым тензором диэлектрической проницаемости, позволяет превзойти дифракционный предел [19].

Рассмотрим процесс создания электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic, предназначенной для автоматизации управления учебным процессом университета на платформе Microsoft SharePoint. Электронный образовательный ресурс

«Оптика "левых" сред» предназначен для информационной поддержки изучения курса по оптике "левых" сред. Электронный образовательный ресурс по оптике "левых" сред посвящён изучению физических основ теории оптических свойств "левых" сред и метаматериалов. Электронный образовательный ресурс «Оптика "левых" сред» содержит основные фундаментальные понятия и определения курса «Оптика "левых" сред». Основные задачи изучения курса «Оптика "левых" сред» состоят в развитии у студента логики мышления, интуиции и творческих способностей; овладении системой знаний и умений по оптике "левых" сред.

SharePoint

Лента новостей OneDrive Сайты

Содержимое сайта ▸ Новый сайт SharePoint

Название и описание

Название:

Оптика "левых" сред

Описание:

Сайт в поддержку изучения учебной дисциплины "Оптика "левых" сред"

Адрес веб-сайта

URL-адрес:

http://mysites.ulspu.ru/personal/altunin_kk/left-handed_media

Выбор шаблона

Выберите язык:

Russian

Выберите шаблон:

Совместная работа Корпоративный

Сайт группы

Блог

Сайт проекта

Место для совместной работы с группой пользователей.

Разрешения

Разрешение на доступ к новому сайту можно предоставить тем же пользователям, которые имеют доступ к этому родительскому сайту, или совершенно другой группе пользователей.

Примечание. Если выбрать вариант **использовать разрешения родительского сайта**, в

Разрешения пользователей:

☐ использовать разрешения родительского сайта

☒ использовать собственные разрешения

Рис. 1. Первая часть страницы создания содержимого сайта «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 1 представлено изображение первой части страницы создания содержимого сайта «Оптика "левых" сред», размещённого в системе Intranet Academic на образовательном портале университета. Первая часть настройки сайта позволяет выбрать адрес сайта, основной язык сайта, шаблон сайта.

SharePoint

Лента новостей OneDrive Сайты

Совместная работа Корпоративный

Сайт группы
Блог
Сайт проекта

Место для совместной работы с группой пользователей.

Разрешения

Разрешение на доступ к новому сайту можно предоставить тем же пользователям, которые имеют доступ к этому родительскому сайту, или совершенно другой группе пользователей.

Примечание. Если выбрать вариант **использовать разрешения родительского сайта**, в обоих сайтах будет действовать один набор разрешений. Поэтому изменить разрешения на новом сайте сможет только администратор родительского сайта.

Разрешения пользователей:

☐ использовать разрешения родительского сайта
☒ использовать собственные разрешения

Навигация

☒ Отображать этот сайт на верхней панели ссылок родительского сайта?

☐ Да ☒ Нет

Наследование навигации

☒ Использовать верхнюю панель ссылок от родительского сайта?

☐ Да ☒ Нет

Создать Отмена

Рис. 2. Вторая часть страницы создания содержимого сайта «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 2 представлено изображение второй части страницы создания содержимого сайта «Оптика "левых" сред», размещённого в системе Intranet Academic на образовательном портале университета. Страница настройки

сайта позволяет выбрать режим совместной работы и разрешения пользователей.

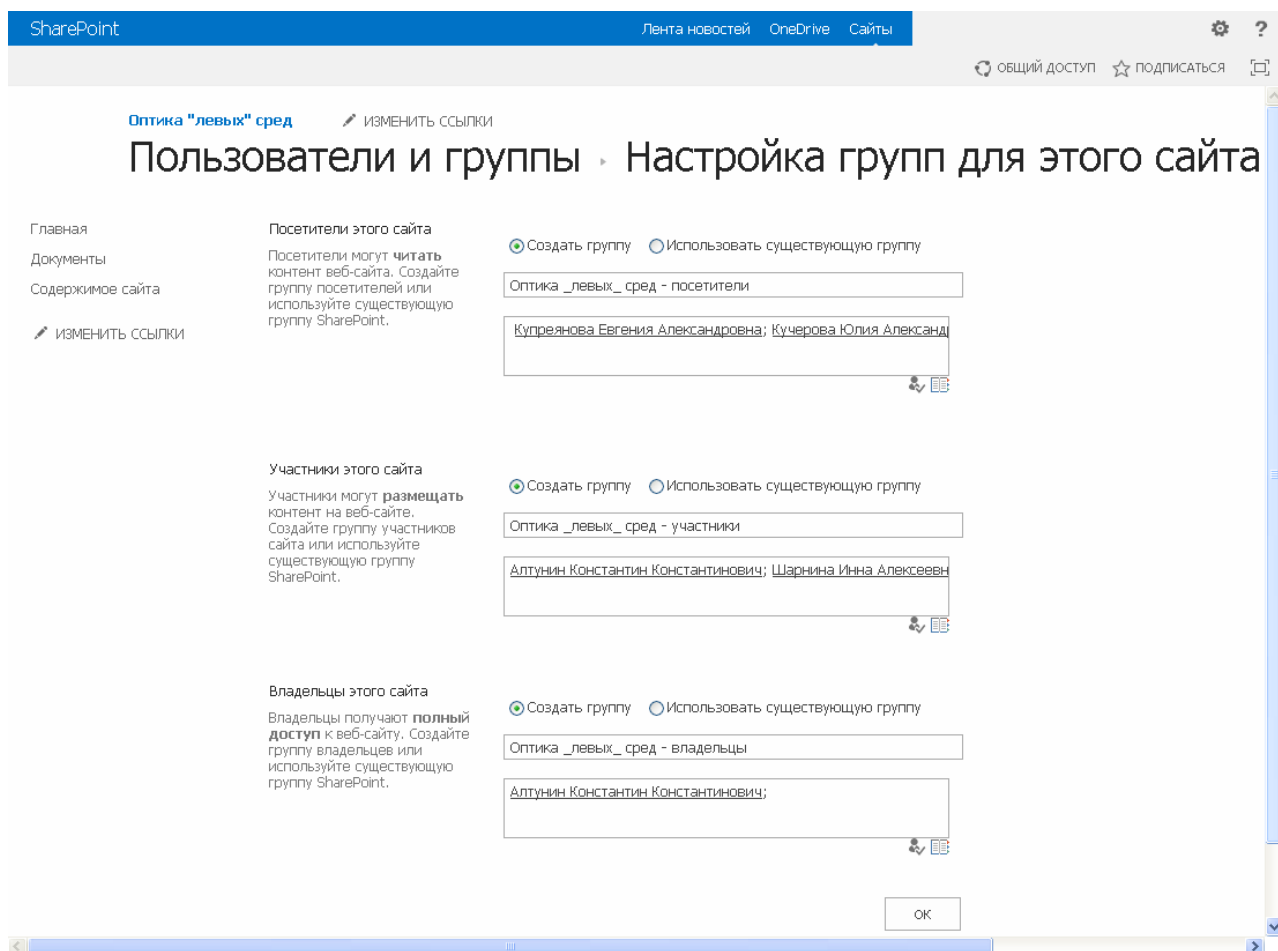


Рис. 3. Страница настройки пользователей и групп электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред», созданного в системе Intranet Academic.

На рис. 3 приведено изображение страницы настройки пользователей и групп электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред», созданного в системе Intranet Academic. На этой странице необходимо добавить пользователей, которые будут являться посетителями сайта с правами только для чтения содержимого электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред». На этой странице необходимо добавить пользователей, которые будут являться участниками сайта, то есть будут иметь возможность размещать материалы на сайте и редактировать материалы электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред».

сред». На этой странице можно добавить владельцев сайта, которые получаю полный доступ к электронному образовательному ресурсу по курсу «Оптика "левых" сред».

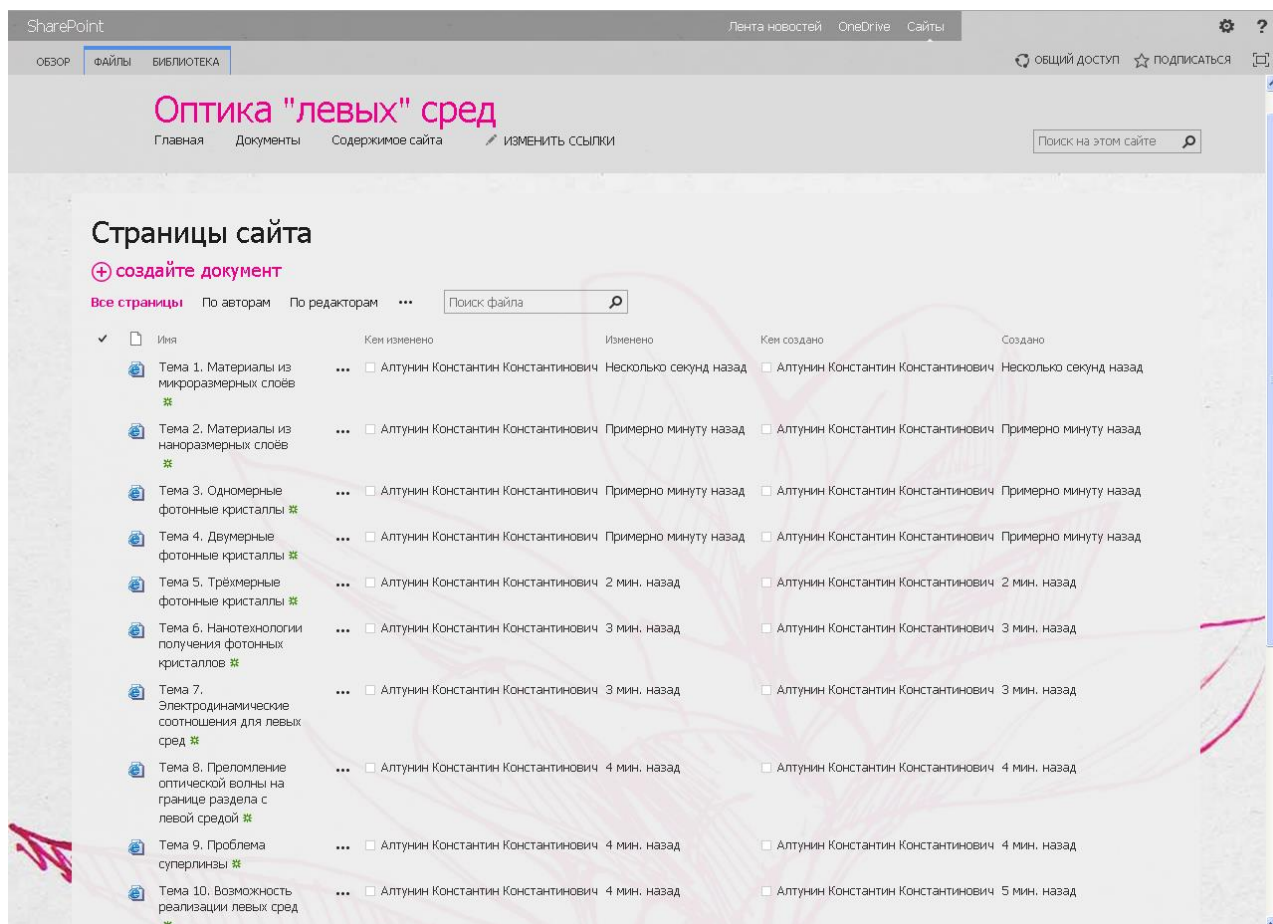


Рис. 4. Часть перечня страниц электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 4 представлено изображение части перечня страниц электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic. Страницы сайта могут выступать в качестве тематических модулей курса, которые содержат теоретические материалы, задачи и задания, ссылки на источники по курсу «Оптика "левых" сред». В первой части курса изучаются физические свойства материалов из микроразмерных и наноразмерных слоёв, одномерных и двумерных фотонных кристаллов. Тот факт, что электронный образовательный ресурс по оптике "левых" сред имеет структуру сайта, позволяет легко осуществлять навигацию

между страницами сайта, являющимися тематическими модулями курса «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic на платформе Microsoft SharePoint.

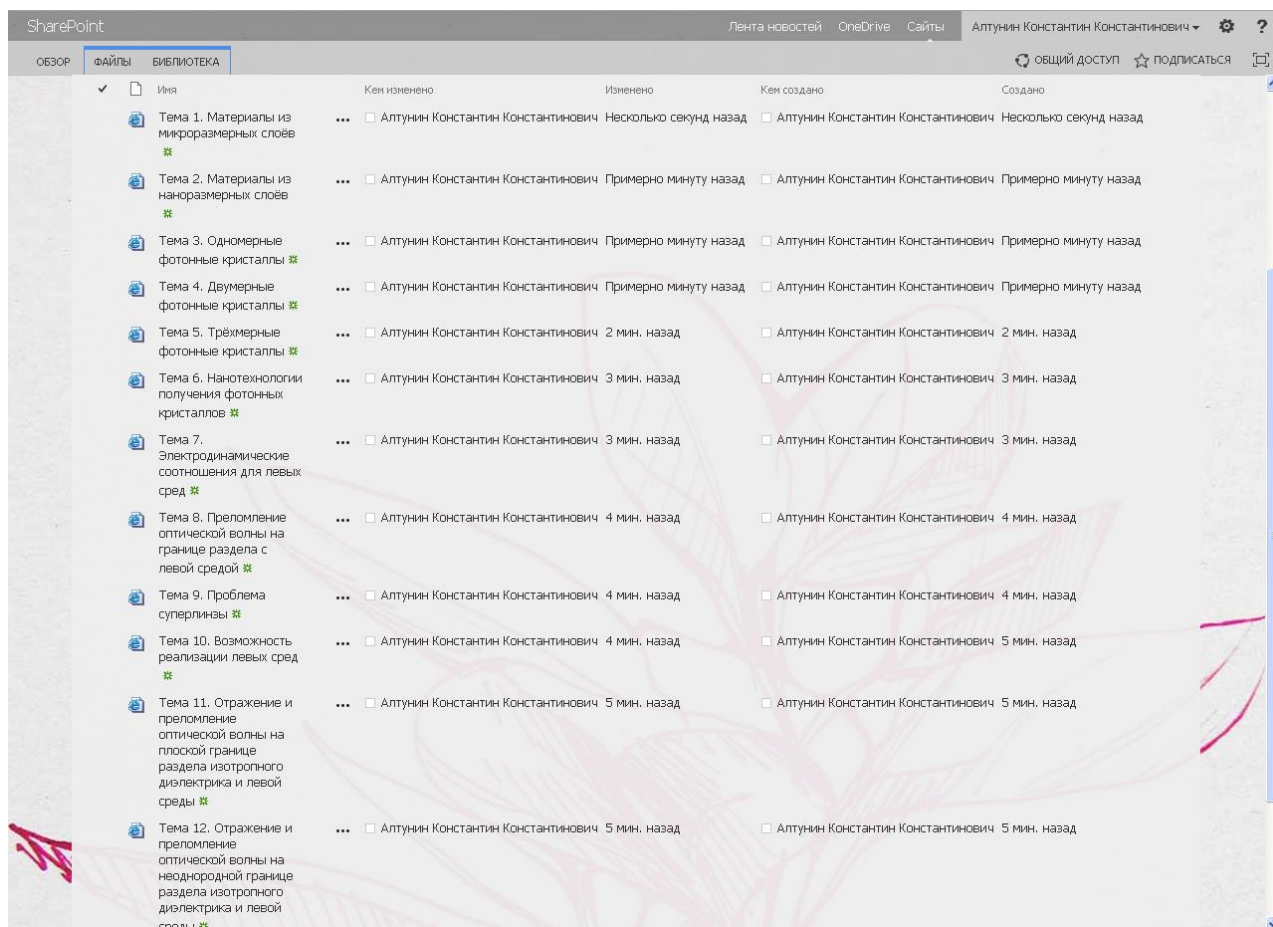


Рис. 5. Вторая часть перечня страниц электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 5 представлено изображение второй части перечня страниц электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic на платформе Microsoft SharePoint. Во второй части тематических модулей курса изучаются электродинамические свойства "левых" сред, а также оптические характеристики при отражении и преломлении оптической волны на плоской или неоднородной границе раздела изотропного диэлектрика и "левой" полубесконечной среды. Кроме того, во второй части тематических модулей курса изучаются проблема создания "суперлинзы" из различных метаматериалов и возможность

практической реализации "левых" сред. Правильная подборка физических задач и заданий в каждом тематическом модуле курса поможет закрепить изученный материал и подготовить студента с помощью курса «Оптика "левых" сред».

Система Intranet Academic позволяет открывать и закрывать доступ к страницам сайта, являющимися тематическими модулями, в соответствии со временем изучения, что позволяет поддерживать необходимый темп продвижения по курсу «Оптика "левых" сред».

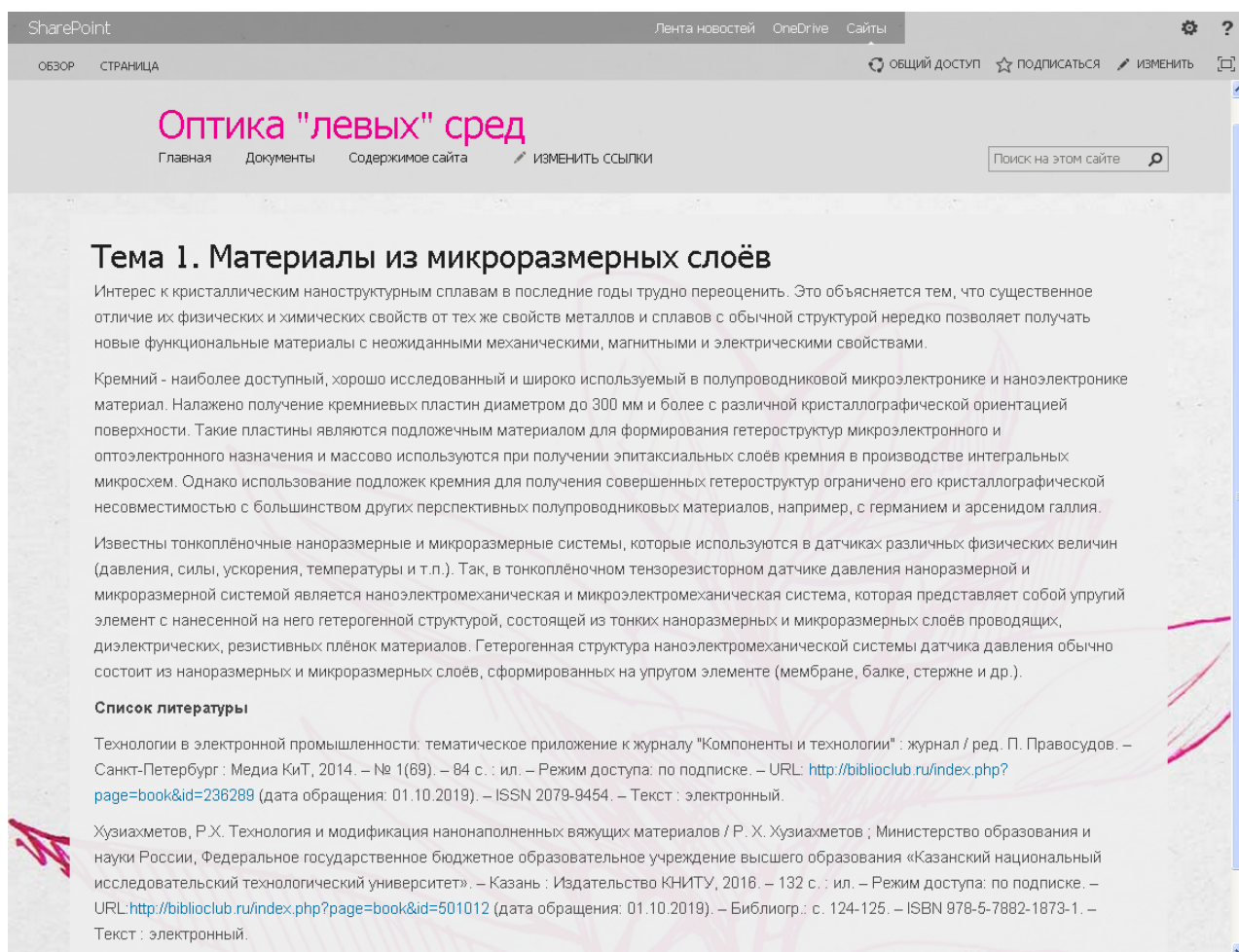


Рис. 6. Элементы избранного тематического модуля электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 6 представлено изображение элемента избранного тематического модуля, посвящённого изучению физических свойств материалов из

микроразмерных слоёв, в составе электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic. Представленный тематический модуль призван познакомить студентов с основными физическими понятиями физики материалов из микроразмерных слоёв.

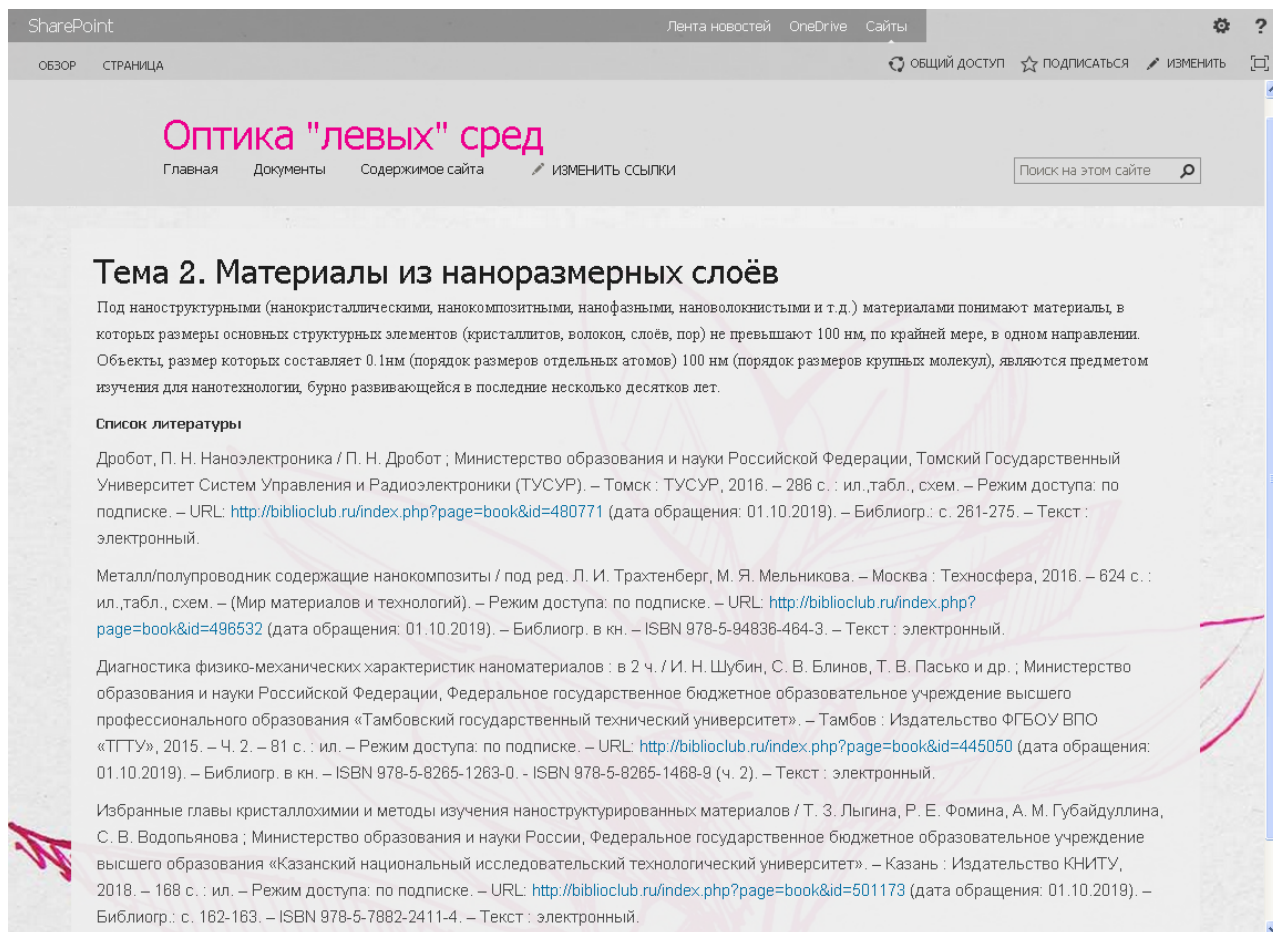


Рис. 7. Элементы избранного тематического модуля электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 7 представлено изображение элемента избранного тематического модуля, посвящённого изучению физических свойств материалов из наноразмерных слоёв, в составе электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic на платформе Microsoft SharePoint. Представленный тематический модуль призван познакомить студентов с основными физическими понятиями физики материалов из наноразмерных слоёв. В состав тематического модуля

включены ссылки на источники, необходимые для изучения темы. По прямым ссылкам на источники можно перейти к чтению источника или электронной книги в электронной библиотечной системе.

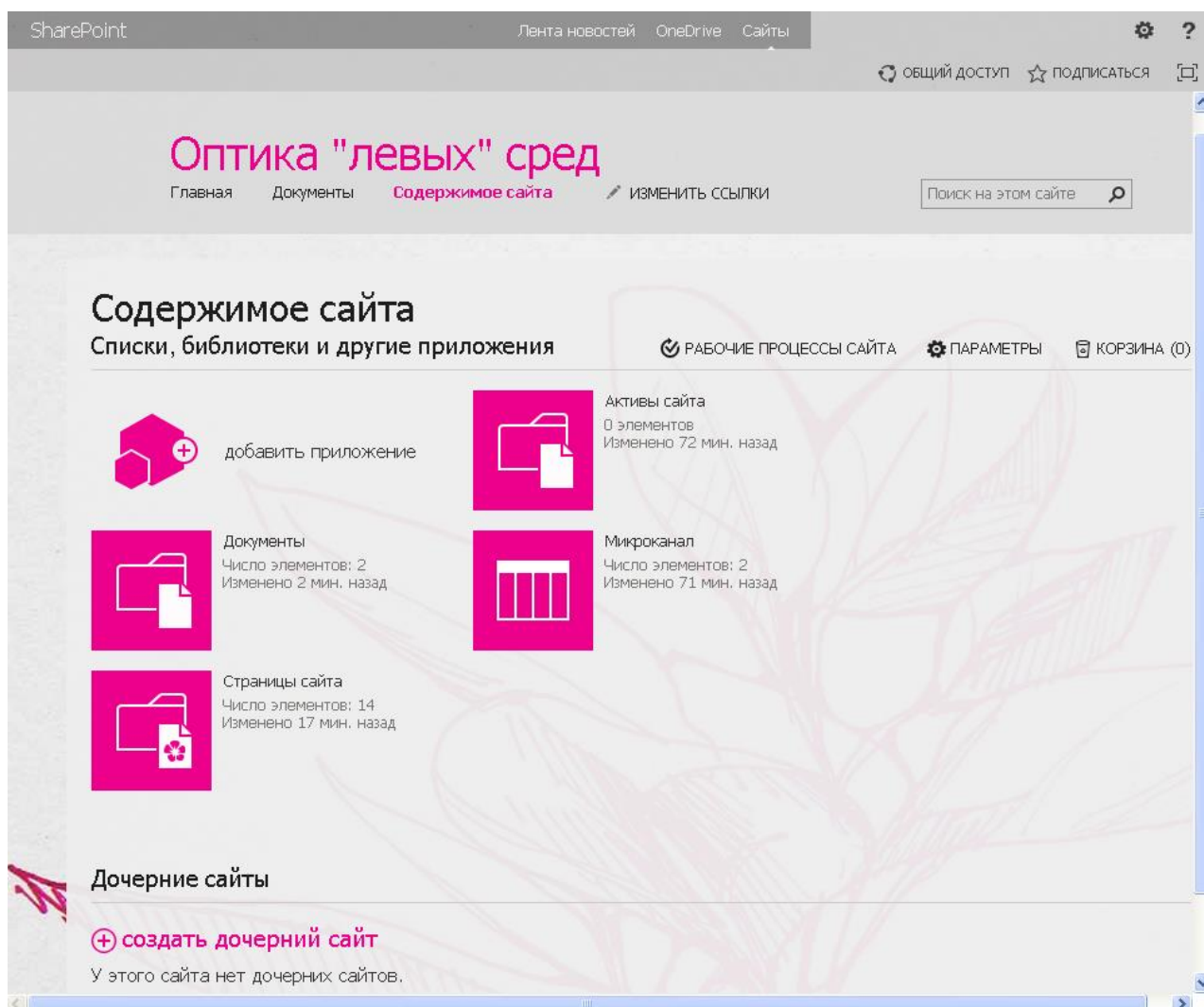


Рис. 8. Страница управления содержимым электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 8 представлено изображение страницы управления содержимым электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред». На странице управления содержимым сайта существует возможность добавлять страницы, приложения, документы, микроканалы, активы сайта, создавать дочерние сайты. При изучении курса «Оптика "левых" сред» с помощью электронного ресурса система Intranet Academic привносит то, что кроме основного курса по изучаемой дисциплине, используется материал для

подготовки в домашних условиях, позволяющий расширить учебное содержание, а также провести дифференциацию учебного материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами студентов.

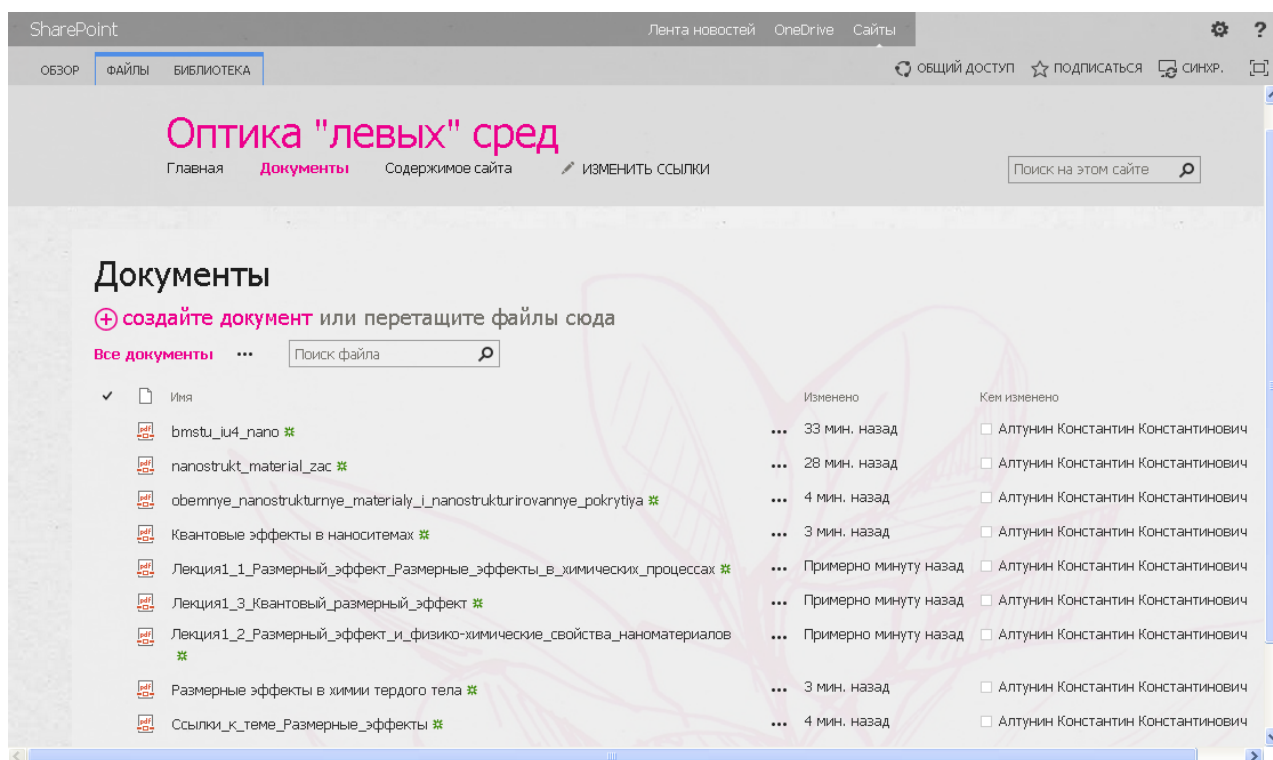


Рис. 9. Перечень документов в составе электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

На рис. 9 представлено изображение части перечня документов в составе электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic. Существует возможность добавлять и удалять документы с сайта. В образовательных целях преподаватель может сформулировать задание, результатом выполнения которого будет файл, который студент загрузит в специальную папку на сайте.

На рис. 10 представлен вид домашней страницы электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic на платформе Microsoft SharePoint в режиме редактирования. Функциональные возможности домашней страницы электронного образовательного ресурса «Оптика "левых" сред» позволяют выбрать стиль и

бренд сайта. Кроме того, на домашней странице существуют возможности управления доступом, добавления списков и библиотек.

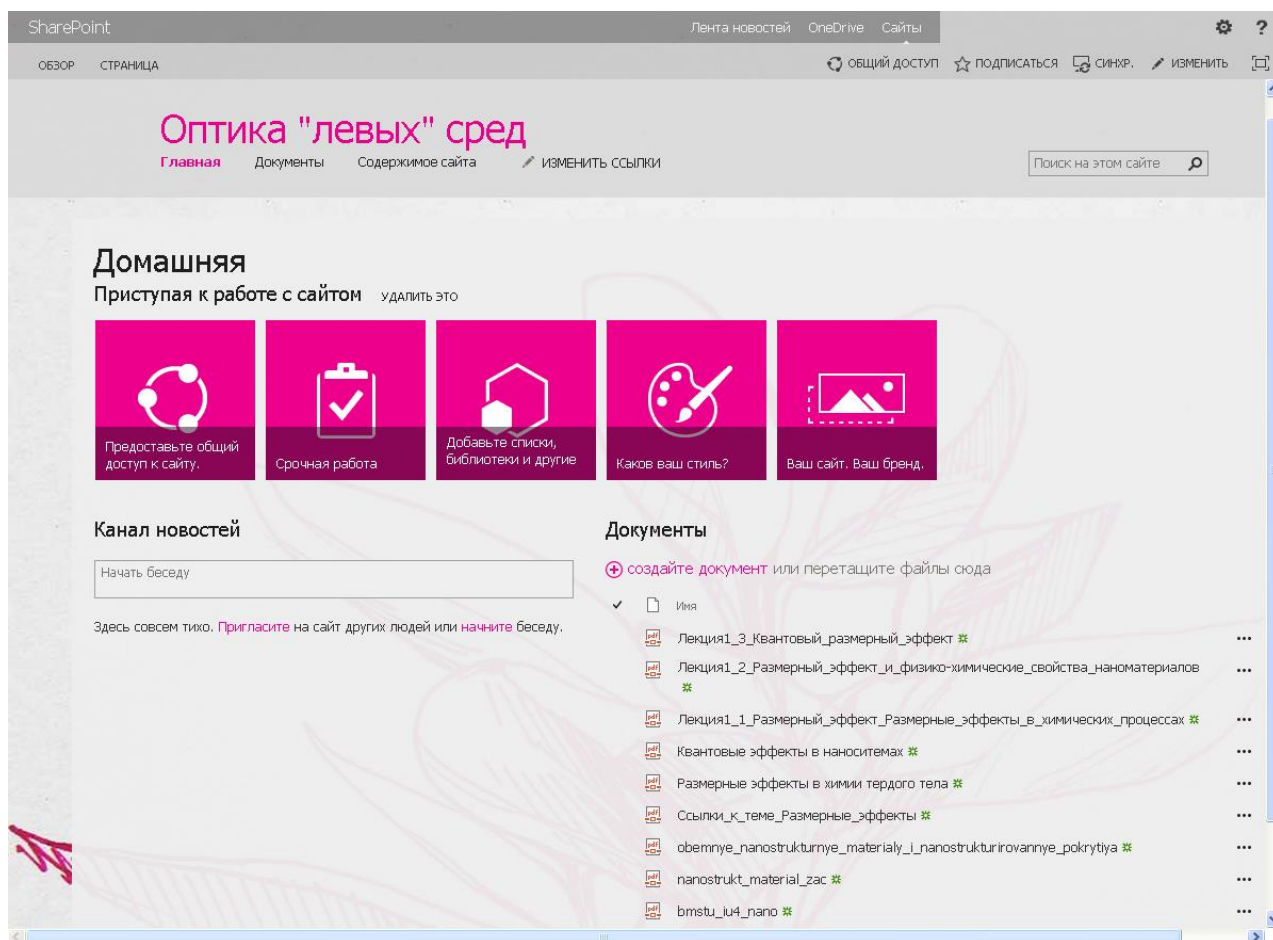


Рис. 10. Домашняя страница электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред» в системе Intranet Academic.

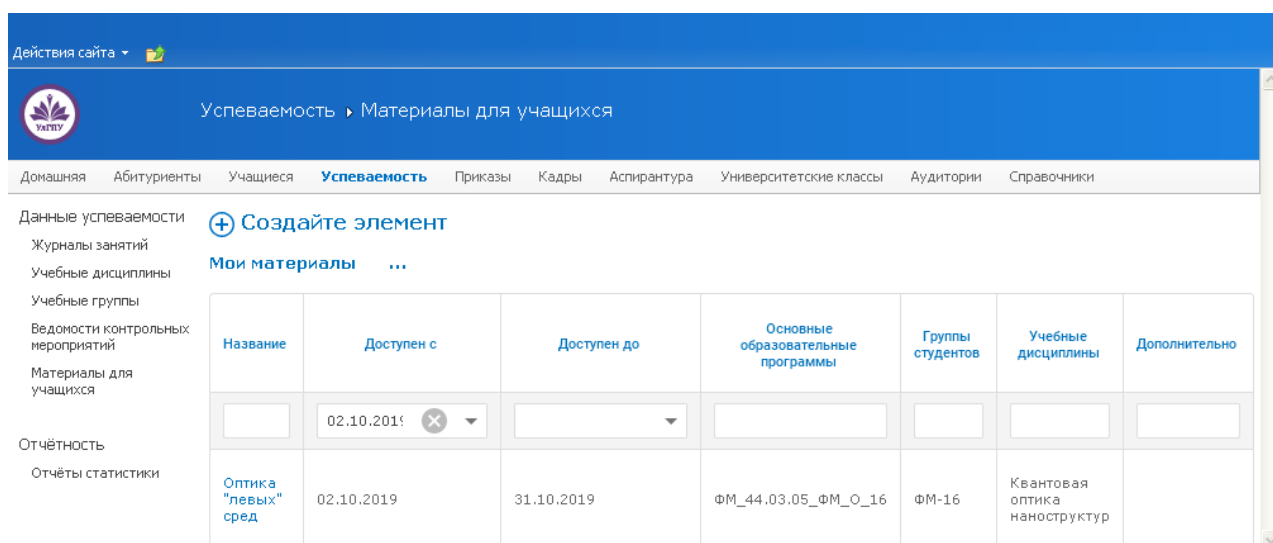


Рис. 11. Ссылка на электронный образовательный ресурс «Оптика "левых" сред» в материалах для учащихся в системе Intranet Academic.

Ссылку на электронный образовательный ресурс «Оптика "левых" сред» можно разместить в методических материалах для учащихся, сделав доступной в необходимый интервал времени определённым группам студентов (рис. 11).

Итак, в работе описан результат разработки электронного образовательного ресурса по курсу «Оптика "левых" сред», который готов к началу использования в учебном процессе в университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по оптике "левых" сред. Электронный образовательный ресурс по курсу «Оптика "левых" сред», созданный в системе Intranet Academic, способствует систематизации хранения учебного материала по оптике "левых" сред. В качестве подтверждения гипотезы исследования спроектирован электронный образовательный ресурс по курсу «Оптика "левых" сред», позволяющий проводить обучение теоретическим основам оптики "левых" сред по традиционной, смешанной и дистанционной формам обучения с применением компьютеров. Электронный образовательный ресурс по курсу «Оптика "левых" сред», созданный в системе Intranet Academic, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя в процессе преподавания учебных дисциплин физико-математического профиля подготовки в университете. Созданный электронный образовательный ресурс по курсу «Оптика "левых" сред» позволит планировать, организовывать и проводить изучение теоретического материала курса по оптике "левых" сред в дистанционной или смешанной форме обучения. Разработанный курс «Оптика "левых" сред» может занять особое место среди курсов по физико-математической тематике, предназначенных для студентов физико-математических профилей подготовки университетов.

Список использованных источников

1. Marques R., Medina F., Rafii-El-Idrissi R. Role of bianisotropy in negative permeability and left-handed metamaterials // Phys. Rev. B. 2002. Vol. 65. p. 144440. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.65.144440>.
2. Rosenblatt G. and Orenstein M. Power drainage and energy dissipation in lossy but perfect lenses // Phys. Rev. A. 2017. Vol. 95. p. 053857. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.95.053857>.
3. Cui T. J., Cheng Q., Huang Zh. Zh., and Feng Y. Electromagnetic wave localization using a left-handed transmission-line superlens // Phys. Rev. B. 2005. Vol. 72. p. 035112. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.72.035112>.
4. Centeno E. and Ciraci C. Theory of backward second-harmonic localization in nonlinear left-handed media // Phys. Rev. B. 2008. Vol. 78. p. 235101. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.78.235101>.
5. Bliokh Yu. P., Savel'ev S., and Nori F. Electron-beam instability in left-handed media // Phys. Rev. Lett. 2008. Vol. 100. p. 244803. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.244803>.
6. Kemp B. A., Kong J. A., Grzegorzczak T. M. Reversal of wave momentum in isotropic left-handed media // Phys. Rev. A. 2007. Vol. 75. p. 053810. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.75.053810>.
7. Crasovan L.-C., Takayama O., Artigas D., Johansen S. K., Mihalache D., Torner L. Enhanced localization of Dyakonov-like surface waves in left-handed materials // Phys. Rev. B. 2006. Vol. 74. p. 155120. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.74.155120>.
8. Kats A. V., Savel'ev S., Yampol'skii V. A., and Nori F. Left-handed interfaces for electromagnetic surface waves // Phys. Rev. Lett. 2007. Vol. 98. p. 073901. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.98.073901>.
9. Kockaert P., Tassin Ph., der Sande G. V., Veretennicoff I., Tlidi M. Negative diffraction pattern dynamics in nonlinear cavities with left-handed materials // Phys. Rev. A. 2006. Vol. 74. p. 033822. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.74.033822>.

- 10.Cheng Q. and Cui T. J. High-power generation and transmission through a left-handed material // Phys. Rev. B. 2005. Vol. 72. p. 113112. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.72.113112>.
- 11.Cheng Q. and Cui T. J. Negative refractions in uniaxially anisotropic chiral media // Phys. Rev. B. 2006. Vol. 73. p. 113104. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.73.113104>.
- 12.Grzegorzczuk T. M., Kong J. A. Electrodynamics of moving media inducing positive and negative refraction // Phys. Rev. B. 2006. Vol. 74. p. 033102. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.74.033102>.
- 13.Cui T. J., Kong J. A. Time-domain electromagnetic energy in a frequency-dispersive left-handed medium // Phys. Rev. B. 2004. Vol. 70. p. 205106. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.70.205106>.
- 14.Dung H. T., Buhmann S. Y., Knoll L., Welsch D.-G., Scheel S., and Kastel J. Electromagnetic-field quantization and spontaneous decay in left-handed media // Phys. Rev. A. 2003. Vol. 68. p. 043816. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.68.043816>.
- 15.Pacheco J. J., Grzegorzczuk T. M., Wu B.-I., Zhang Y., Kong J. A. Power propagation in homogeneous isotropic frequency-dispersive left-handed media // Phys. Rev. Lett. 2002. Vol. 89. p. 257401. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.257401>.
- 16.Marques R., Martel J., Mesa F., and Medina F. Left-handed-media simulation and transmission of EM waves in subwavelength split-ring-resonator-loaded metallic waveguides // Phys. Rev. Lett. 2002. Vol. 89. p. 183901. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.89.183901>.
- 17.Hu L. and Chui S. T. Characteristics of electromagnetic wave propagation in uniaxially anisotropic left-handed materials // Phys. Rev. B. 2002. Vol. 66. p. 085108. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.66.085108>.
- 18.Pendry J. B. Negative refraction makes a perfect lens // Physical Review Letters. 2000. Vol. 85, no. 18. p. 3966-3969. URL: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.85.3966>.

19. Jacob Z., Alekseyev L. V., Narimanov E. Optical hyper-lens: far-field imaging beyond the diffraction limit // Optics Express. 2006. Vol. 14, no. 18. p. 8247. URL: <https://doi.org/10.1364/oe.14.008247>.