

УДК 535.8

ББК 74.262.23

## **Разработка электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике**

**Алтунин Константин Константинович,**

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

**Карташова Алеся Алексеевна,**

студент 5 курса направления подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), Профиль: Физика. Математика, факультета физико-математического и технологического образования, группы ФМ-14, ФГБОУ ВО "Ульяновский государственный педагогический университет им. И. Н. Ульянова", г. Ульяновск, Россия

**Аннотация.** Рассматриваются особенности процесса разработки электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE. разработаны модульная структура и основные элементы контроля в составе курса по солнечной энергетике. Электронный образовательный ресурс по солнечной энергетике, созданный в работе, позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить изучение учебной дисциплины "Солнечная энергетика".

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, курс, электронный курс, электронный образовательный ресурс, система управления обучением MOODLE

В настоящее время интенсивно развиваются технологии создания солнечных панелей на основе кремния, арсенида галлия, а также тройных соединений или более сложных соединений и нанокompозитов. Преобразование солнечной энергии в электрическую энергию является важной научно-технической проблемой, связанной с перспективным направлением энергетики будущего. Актуальность солнечной энергетики постоянно растёт, потому что солнечная энергия является экологически чистой. Вторая причина актуальности использования солнечной энергии заключается в её ресурсоёмкости.

Существует пробел между передовыми технологиями, теоретическими идеями в области проектирования солнечных панелей и читаемыми курсами по оптоэлектронике и солнечной энергетике. Электронный образовательный ресурс по солнечной энергетике, разрабатываемый в работе, призван частично устранить этот пробел.

Актуальность изучения данной проблемы обусловлена тем, что использование электронных курсов решает проблему систематизации теоретического материала, задач и заданий, а также обеспечивает планомерную выдачу заданий, последовательный контроль и даёт рациональный подход в преподавании курса по солнечной энергетике.

В работе поставлена задача описания разработки электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике.

Объектом исследования является электронный курс по солнечной энергетике.

Предметом исследования является процесс создания электронного курса по солнечной энергетике.

Гипотеза исследования состоит в возможности уменьшения объёма работы преподавателя в процессе преподавания курса по солнечной энергетике за счёт применения электронного образовательного ресурса.

В качестве методов исследования используются компьютерные методы создания электронных образовательных ресурсов в системе MOODLE.

В течение почти шестидесяти лет солнечная энергия для космических применений основывалась на неорганических фотоэлектрических системах, развивающихся от солнечных элементов, изготовленных из одного кристаллического кремния, до тройных соединений на основе сплавов германия и соединений  $A^{III}B^V$ . Класс фотовольтаических элементов на основе органических веществ, который варьируется от полностью органических до гибридных перовскитов, имеет потенциал стать прорывной технологией в космических применениях благодаря уникальной комбинации привлекательных внутренних свойств (например, запись высокой удельной мощности, настраиваемого окна поглощения) и возможности технологической обработки.

Почти каждому искусственному устройству требуется энергия, чаще всего в виде электричества. Эта потребность движется вместе с устройством, когда выходим за пределы Земли. Чтобы обеспечить более длительный срок службы и снизить нагрузку, спутники на солнечной энергии были введены в конце пятидесятих годов, вскоре после общемирового объявления об успешном преобразовании солнечной энергии [1]. Таким образом, фотовольтаика позволила получить поистине возобновляемую и бесконечно изобильную энергию, стоимость которой определяется только первоначальными инвестициями для производства солнечных панелей и, когда это предусмотрено как источник энергии для космических аппаратов, их вывод из орбиты. Стоимость последнего быстро возрастает с массой объекта, приносимого в космос, что является ключом к потенциальным преимуществам ультратонких солнечных элементов. По этой причине уже с 1960-х годов космическая промышленность рассматривала внедрение тонкоплёночных солнечных элементов  $CuS_2$ ,  $CdS$  и  $CdTe$  на всё более энергоёмких коммуникационных спутниках, но в конечном итоге оставалась ориентированной на более надёжном кремнии [2].

Тем не менее, уже в области аэрокосмической отрасли [3] и для органических и гибридных полупроводников [4, 5] удельная мощность (Вт/кг)

была предложена как действительная цифра в качестве достойной оценки технологий фотовольтаики для космических полётов. В связи с этим органические солнечные элементы и гибридные органически-неорганические перовскитные солнечные элементы, называемые вместе как гибридные и органические фотовольтаики, значительно превосходят их неорганические аналоги [4, 5]. Они представляют собой две новые отрасли технологий фотовольтаики, которые увидели рост в течение последнего десятилетия (последние несколько лет в случае перовскитных солнечных элементов) благодаря их потенциально очень низким издержкам производства. Высокое поглощение фотоактивных слоёв в гибридных и органических фотовольтаиках позволяет эффективно собирать свет в пределах нескольких сотен нанометров материала, что приводит к толщине на один-два порядка ниже, чем у неорганических тонких фотоэлектрических элементов. Остальные слои, составляющие стеки солнечных элементов, либо тонкие, либо сверхтонкие, чем поглотители, с единственным ограничением по толщине (и, следовательно, массе) происходит от подложки и инкапсуляции, которая может состоять из гибкой пластиковой плёнки толщиной несколько микрометров [4, 5]. Конкретная мощность, достигнутая к настоящему времени для перовскита (23 кВт/кг) [4] и органических (10 кВт/кг) [5] солнечных элементов, таким образом, превышает 20 или 10 раз больше, чем требуется некоторыми из новых миссий, которые предполагают необходимость снижения веса и снижения затрат на развертывание [2].

Высокая удельная мощность не является единственной привлекательной особенностью этих устройств. Указанная низкая стоимость изготовления обусловлена их внутренней совместимостью с методами низкотемпературной печати.

Взаимодействие между светом и веществом, которое приводит к различным интересным явлениям, обычно сильно зависит от структурной симметрии и степени упорядочения в естественных или искусственных материалах. Исходя из существования или отсутствия дальнего и ближнего

порядка, материалы (или структуры) могут обладать периодическим, квазипериодическим и случайным порядком соответственно. В частности, периодические структуры имеют как дальний, так и ближний порядок; квазипериодические структуры имеют дальний порядок, но и ближний беспорядок; а случайные структуры не имеют ни дальнего, ни ближнего порядка. Хорошо известно, что периодичность в структурах приводит к различным важным эффектам, например, что иллюстрирует теорема Блоха, в физике твёрдого тела.

Солнечный свет, возможно, является самым распространенным чистым источником энергии, который способен обеспечить постоянный и устойчивый экономический рост с минимальным пагубным воздействием на окружающую среду. Кристаллические солнечные элементы кремния постоянно повышают эффективность и снижают стоимость изготовления за последние 40 лет [6–9], а в некоторых местах в мире по текущим ценам они способны производить электричество от солнечного света при сопоставимых стоимости электроэнергии, вырабатываемой из ископаемого топлива [10].

В течение последнего десятилетия двумерные твёрдые кристаллы привлекали большое внимание их уникальными особенностями, которые очень нужны для применений в оптоэлектронике, фотонике и термоэлектрике [11–13]. Их интригующие характеристики, такие как гибкость, прозрачность и сверхтонкость, делают их более удобными для сыпучих материалов в ультрасовременных наноразмерных технологиях. Ультратонкая геометрическая структура двумерных материалов приводит к эффектам квантового удержания в одном направлении, которые развивают много интересных особенностей в электронных и оптических свойствах двумерных материалов [11].

Оксиды перовскита неустанно исследовались в течение последних десятилетий как источник множества физических явлений, таких как упорядочение заряда, колоссальное магнитосопротивление, сверхпроводимость, сегнетоэлектричество, колоссальные

магнитоэлектрические эффекты или фотовольтаический отклик [14–17]. Окислы марганца в настоящее время исследуются в физике конденсированных сред, и их популярность достигает уровней, сравнимых с уровнями высокотемпературных сверхпроводящих купратов.

Целью освоения учебной дисциплины “Солнечная энергетика” является формирование представлений о принципах действия фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии, технологиях их изготовления, современных полупроводниковых структурах, предназначенных для реализации солнечных элементов, методах исследования фотоэлектрических преобразователей, а также компетенций, предусмотренных образовательным стандартом, и готовности обучаемого к выполнению различных видов профессиональной деятельности.

Солнечная энергия — это излучение Солнца, способное вырабатывать тепло, вызывать химические реакции или вырабатывать электричество. Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю, значительно превышает текущие и ожидаемые потребности в энергии в мире. Если его использовать, этот сильно рассеиваемый источник может удовлетворить все будущие потребности в энергии. Ожидается, что в XXI веке солнечная энергия будет становиться всё более привлекательной как источник возобновляемой энергии из-за её неисчерпаемого характера, резко контрастирующего с конечным ископаемым топливом угля, нефти и природного газа.

Солнце является чрезвычайно мощным источником энергии, и солнечный свет является самым большим источником энергии, получаемой Землей, но его интенсивность на поверхности Земли на самом деле довольно низкая. Это по существу связано с огромным радиальным распространением излучения от далекого Солнца. Относительно незначительные дополнительные потери связаны с земной атмосферой и облаками, которые поглощают или рассеивают до 54 % поступающего солнечного света. Солнечный свет, который достигает земли, состоит из почти 50 % видимого

света, 45 % инфракрасного излучения и меньшего количества ультрафиолетовых и других видов электромагнитного излучения.

В работе рассматриваются основы разработки электронных образовательных ресурсов на примере электронного курса по солнечной энергетике. Рассмотрим процесс разработки электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике. Выполним описание функциональных возможностей электронного образовательного ресурса в виде электронного курса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE.

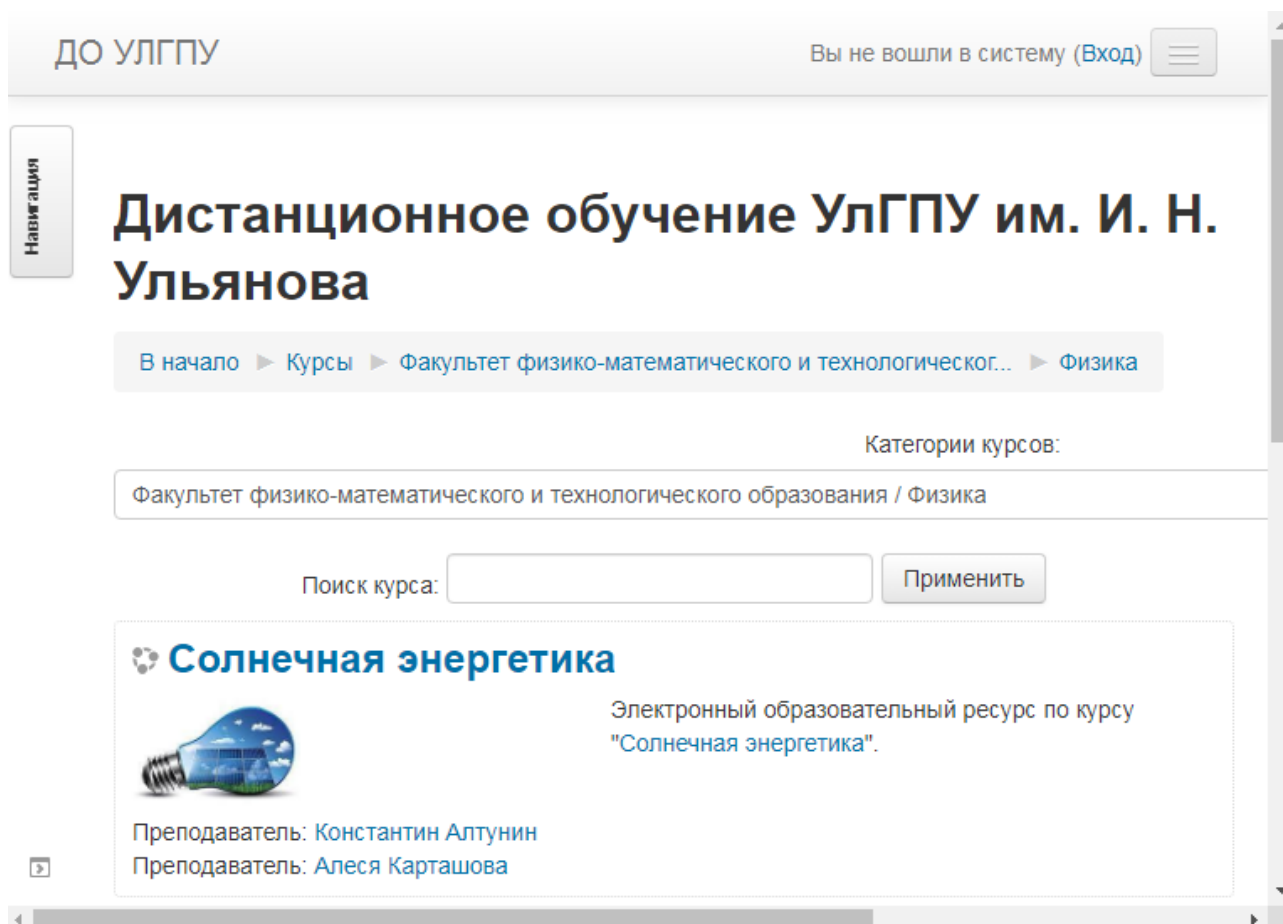


Рис. 1. Входная страница электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе дистанционного обучения MOODLE на образовательном портале ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И. Н. Ульянова».

На рис. 1 приведено изображение входной страницы электронного курса по солнечной энергетике, созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале дистанционного обучения ФГБОУ ВО

«УлГПУ им. И. Н. Ульянова». На входной странице электронного курса по солнечной энергетике можно увидеть ссылку для входа и способы записи на курс "Солнечная энергетика" на образовательном портале университета.

На рис. 2 приведено изображение вводной части электронного курса по солнечной энергетике, созданного в системе управления обучением MOODLE. Сразу можно видеть необходимое количество часов на освоение этого электронного курса. Для планирования изучения курса очень удобным является наличие описания основных целей курса. После этого становится возможным распределить нагрузки при изучении курса.



Рис. 2. Вводная часть электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE.

Электронный курс по солнечной энергетике рассчитан на 18 часов лекций и 30 часов практических занятий. Однако материалы электронного курса могут изучаться и в расширенном объеме. Выбранный объем электронного курса соответствует среднему объёму изучаемой дисциплине в университете. Запланированного времени достаточно, что освоить основные материалы курса. Дистанционный курс по солнечной энергетике может быть



использован в качестве элективного курса в общеобразовательной школе в несколько усечённом объёме.

Если открыть данный курс, то можно увидеть структуру электронного курса в виде тематических модулей. На рис. 3 приведено изображение первой части структуры электронного курса по солнечной энергетике, созданного в системе управления обучением MOODLE.

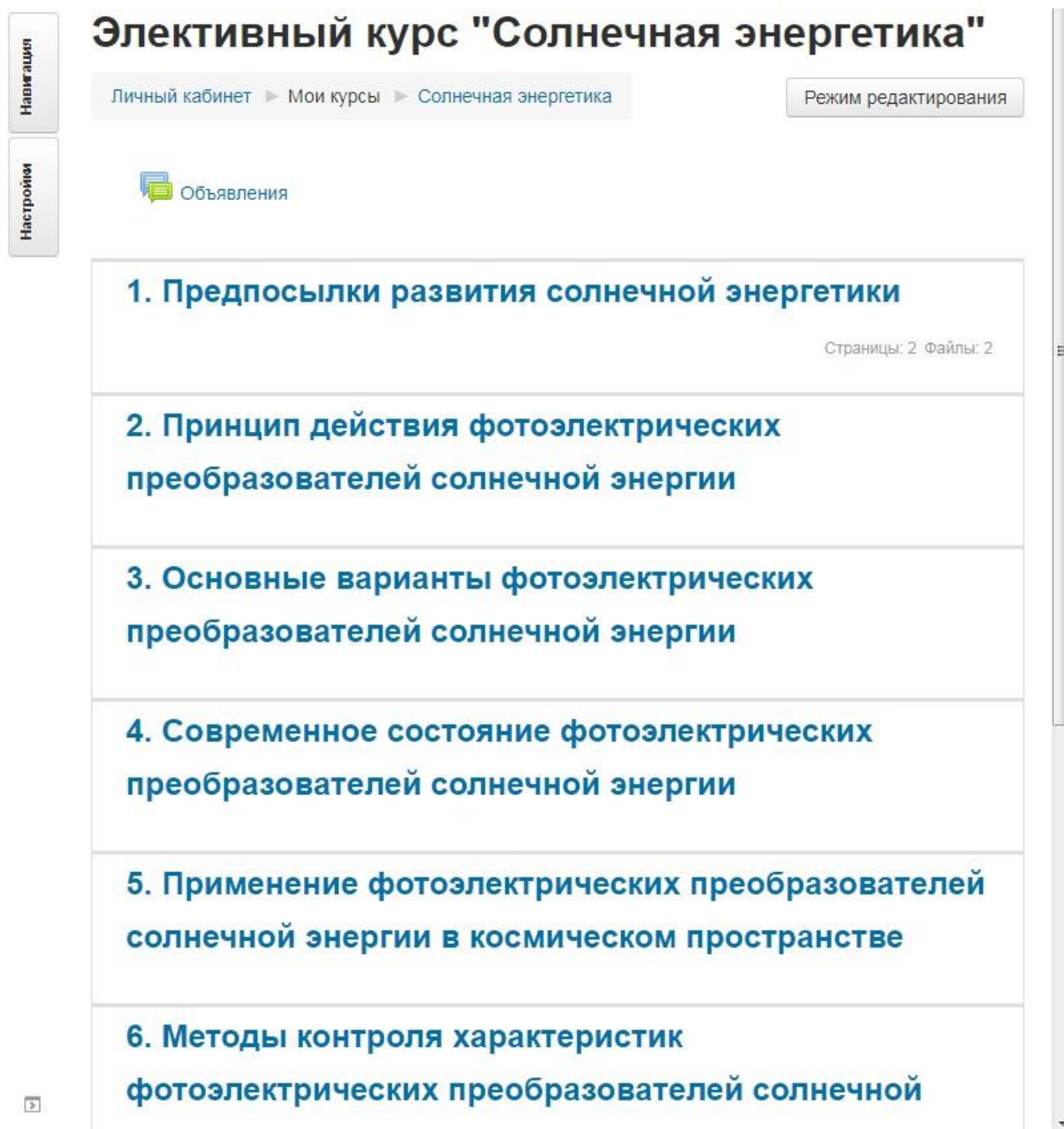


Рис. 3. Структура электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE.

Модульная структура необходима как для наилучшей организации изучения дистанционного курса и организации коллективной работы со слушателями курса, так для проверки работ, коллективной проверки работ, взаимной проверки работ. На рис. 4 приведено изображение второй части структуры дистанционного курса по солнечной энергетике, созданного в системе управления обучением MOODLE.

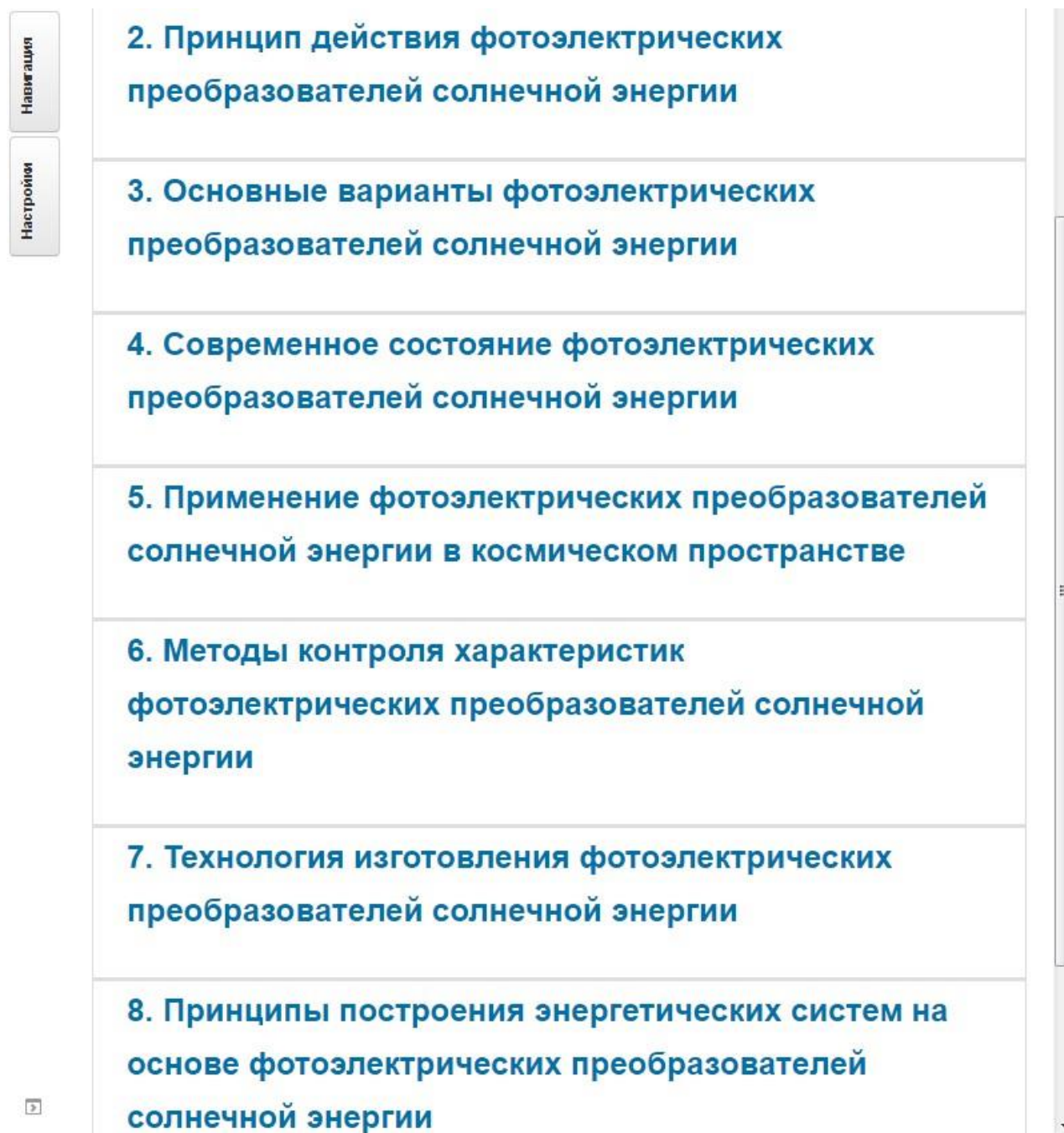


Рис. 4. Структура электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

Электронный курс по солнечной энергетике разделен на 8 тематических модулей. Модули содержат теоретический материал, объединённый одной тематикой, а также имеющие элементы контроля знаний по теме. Первая лекция запланирована как ознакомительная лекция с курсом, и поэтому содержит вводные понятия и термины по курсу.

The screenshot displays a Moodle course interface. On the left, there is a vertical sidebar with two buttons: 'Навигация' (Navigation) and 'Настройки' (Settings). The main content area is divided into three sections, each with a title, a descriptive paragraph, and a list of resources. The first section is titled '1. Предпосылки развития солнечной энергетики' and lists resources like 'Солнечная энергия', 'Видеоролик о солнечной энергетике', 'Солнечная энергетика', and 'Презентация по солнечной энергетике'. The second section is titled '2. Принцип действия фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии' and contains a paragraph about semiconductor materials. The third section is titled '3. Основные варианты фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии' and contains a paragraph about heterostructure photovoltaic converters. A small '2' icon is visible in the bottom left corner of the screenshot.

**1. Предпосылки развития солнечной энергетики**

Свойства солнечного излучения. Распространение излучения в атмосфере. Потенциальные возможности использования солнечной энергии. Направления развития солнечной энергетики.

- Солнечная энергия
- Видеоролик о солнечной энергетике
- Солнечная энергетика
- Презентация по солнечной энергетике

**2. Принцип действия фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии**

Полупроводниковые материалы для фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии. Фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии на основе полупроводникового *p-n*-перехода. Идеальный фотоэлектрический преобразователь. Реальный фотоэлектрический преобразователь. Эффективность фотоэлектрических преобразователей. Основные характеристики фотоэлектрических преобразователей.

**3. Основные варианты фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии**

Гетероструктурный фотоэлектрический преобразователь. Фотоэлектрический преобразователь на основе диода Шоттки. Применение МДП-структур в качестве фотоэлектрических преобразователей. Сравнение эффективности фотоэлектрических преобразователей.

Рис. 5. Первые три темы с элементами содержания электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.



На рис. 5 приведено изображение первых трёх тем с элементами содержания первых тематических модулей по солнечной энергетике. Затем элементы модулей открываются для слушателей курса по мере изучения курса. По истечении времени выполнения задания курса закрываются. В первую тему включены видео-уроки по солнечной энергетике. В составе первого модуля лекционный материал прикреплен в отдельном файле.

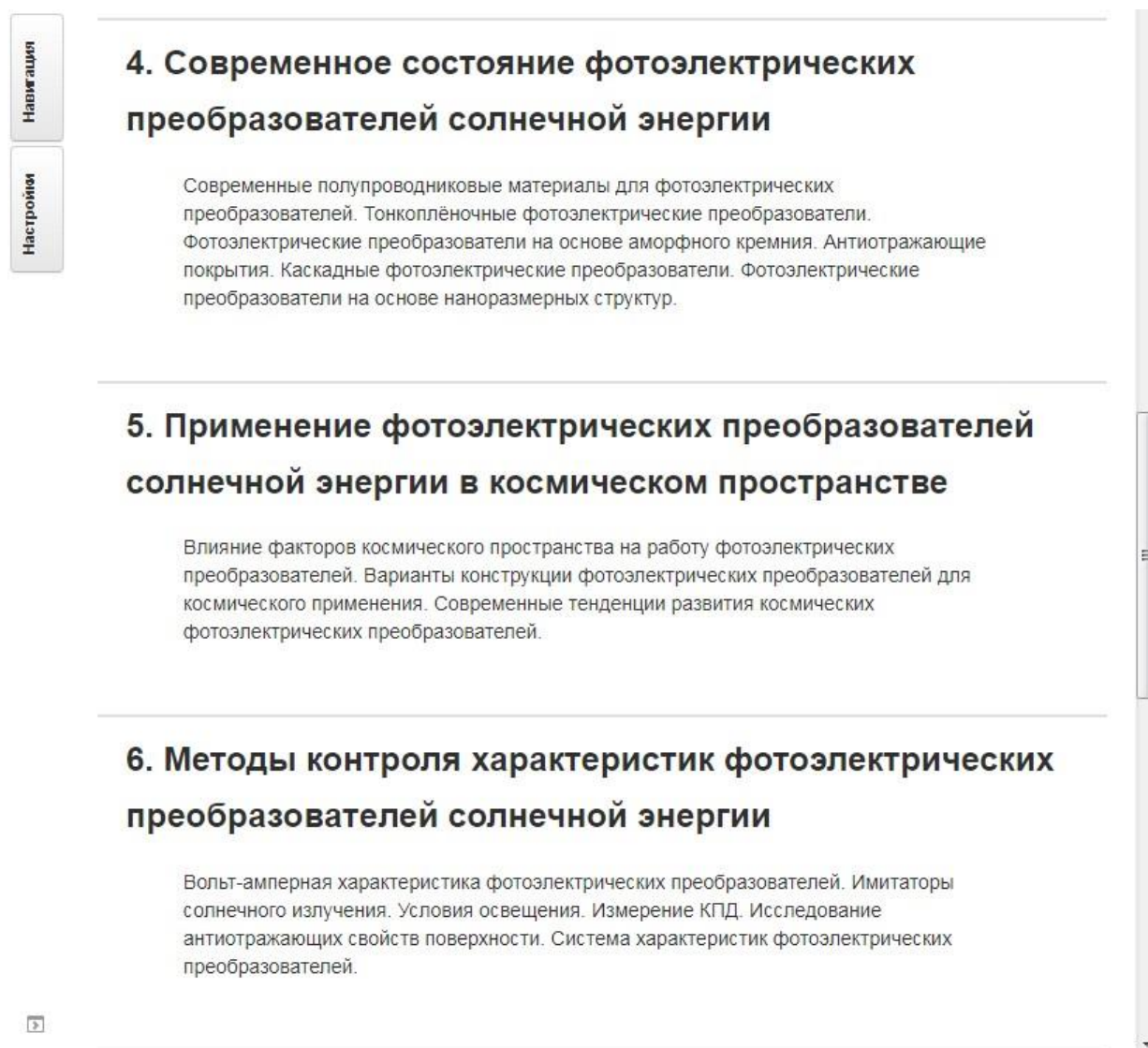


Рис. 6. Четвёртый, пятый и шестой модули электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 6 приведено изображение четвёртого, пятого и шестого модулей с элементами содержания электронного курса по солнечной энергетике, созданного в системе управления обучением MOODLE. Каждый модуль

содержит не менее чем одну лекцию. Основные опорные материалы включены в презентации в составе модулей курса по солнечной энергетике. Последняя лекция направлена на обобщение и систематизацию всего пройденного материала по солнечной энергетике в рамках изучения курса.

**7. Технология изготовления фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии**

Основные требования к технологии фотоэлектрических преобразователей. Технология кремниевых фотоэлектрических преобразователей. Формирование антиотражающих покрытий. Применение пористого кремния. Тонкоплёночная технология. Технология фотоэлектрических преобразователей на аморфном кремнии. Технология фотоэлектрических преобразователей с квантовыми точками.

**8. Принципы построения энергетических систем на основе фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии**

Экономические аспекты энергетических систем на основе фотоэлектрических преобразователей. Варианты схем построения энергетических систем. Преобразователи напряжения. Аккумуляторы. Включение в энергосистему.

 **Запись на зачёт**

«Зачтено» - оценка соответствует повышенному и пороговому уровню и выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приёмами выполнения практических задач.

«Не зачтено» - оценка выставляется обучающемуся, который не достигает порогового уровня, демонстрирует непонимание проблемы, не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

Рис. 7. Элементы седьмой и восьмой тем электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 7 приведено изображение части элементов седьмой и восьмой тем электронного курса по солнечной энергетике, созданного в системе управления обучением MOODLE. В составе электронного курса по солнечной

энергетике есть страница с терминами солнечной энергетики. На рис. 8 можно фрагмент страницы с терминами по солнечной энергетике. Этот фрагмент страницы с терминами предлагается изучить самостоятельно. В качестве задания предлагается выявить преимущества и недостатки солнечной энергетики.

Навигация

Настройки

## Элективный курс "Солнечная энергетика"

Личный кабинет ► Мои курсы ► Солнечная энергетика ►  
1. Предпосылки развития солнечной энергетики ► Солнечная энергия

Солнечная энергия - это излучение Солнца, способное вырабатывать тепло, вызывать химические реакции или вырабатывать электричество. Общее количество солнечной энергии, падающей на Землю, значительно превышает текущие и ожидаемые потребности в энергии в мире. Если его использовать, этот сильно рассеиваемый источник может удовлетворить все будущие потребности в энергии. Ожидается, что в XXI веке солнечная энергия будет становиться всё более привлекательной как источник возобновляемой энергии из-за её неисчерпаемого характера, резко контрастирующего с конечным ископаемым топливом угля, нефти и природного газа.



Солнце является чрезвычайно мощным источником энергии, и солнечный свет является самым большим источником энергии, получаемой Землей, но его интенсивность на поверхности Земли на самом деле довольно низкая. Это по существу связано с огромным радиальным распространением излучения от далекого Солнца. Относительно незначительные дополнительные потери связаны с земной атмосферой и облаками, которые поглощают или рассеивают до 54 процентов поступающего солнечного света. Солнечный свет, который достигает земли, состоит из почти 50 процентов видимого света, 45 процентов инфракрасного излучения и меньшего количества ультрафиолетовых и других видов электромагнитного излучения.

Рис. 8. Страница по терминам солнечной энергетики электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе дистанционного обучения на платформе MOODLE.

На рис. 9 приведено изображение избранного слайда презентации в составе электронного курса по солнечной энергетике, созданного в системе



управления обучением MOODLE. На слайде наглядно показано, что в Японии уже широко используются солнечные батареи для выработки электроэнергии в частных домах. На протяжении всего курса слушатели набирают баллы за выполнение предложенных заданий, которые непосредственно связаны с теоретическими сведениями изучаемого курса по солнечной энергетике.

Навигация

Настройки

## Элективный курс "Солнечная энергетика"

[Личный кабинет](#) ▶ [Мои курсы](#) ▶ [Солнечная энергетика](#) ▶  
1. Предпосылки развития солнечной энергетики ▶ [Солнечная энергетика](#)

### Солнечная энергетика

#### Спецрепортаж «Зеленая энергия» для будущего

Япония является мировым лидером по производству солнечной электроэнергии. 90% солнечной энергии, производимой в Японии, вырабатывается солнечными панелями в обычных домах. Японское правительство поставило цель в 2010 году получить примерно 4,8 млн. кВт энергии от солнечных батарей. Источник: журнал «Япония сегодня».



Рис. 9. Третий слайд презентации в составе электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE.

Когда слушатели заканчивают изучение курса по солнечной энергетике, то они могут записаться на сдачу зачёта по курсу.

Разработанный электронный образовательный ресурс по солнечной энергетике в системе управления обучением MOODLE восполняет пробел

между передовыми технологиями, физическими идеями в области проектирования солнечных панелей и читаемыми курсами по оптоэлектронике и солнечной энергетике. Показано, что использование электронного курса по солнечной энергетике решает проблему систематизации теоретического материала, задач и заданий по солнечной энергетике, а также обеспечивает планомерную выдачу заданий, последовательный контроль и даёт рациональный подход в преподавании курса по солнечной энергетике.

В качестве подтверждения гипотезы исследования продемонстрировано, что использование электронного образовательного ресурса по солнечной энергетике позволяет уменьшить объём работы преподавателя в процессе организации изучения курса по солнечной энергетике.

Проведённый анализ научной литературы по солнечной энергетике и электронным образовательным ресурсам по физике показал существование возрастающих потребностей в создании электронных курсов по солнечной энергетике для различных уровней образования. Разработан электронный образовательный ресурс по солнечной энергетике, который готов к началу использования в учебном процессе. Разработанный электронный образовательный ресурс по солнечной энергетике позволяет повысить эффективность самостоятельной работы при изучении курса по солнечной энергетике. В составе лекционного курса по солнечной энергетике использован обзор оптических свойств солнечных панелей для наполнения структуры теоретических материалов курса. Созданный в работе электронный образовательный ресурс позволяет эффективно планировать, организовывать и проводить изучение курса по солнечной энергетике.



**Список использованных источников**

1. Reynolds C. G., Green C. M., Lomask V. Vanguard: a history.// Military Affairs. — 1971. — Oct. — Vol. 35, no. 3. — P. 120. — URL: <https://doi.org/10.2307/1984029>.
2. Bailey Sh., Raffaele R. Space Solar Cells and Arrays // Handbook of photovoltaic science and engineering. — John Wiley & Sons, Ltd, 2011. — Mar. — P. 365–401. — URL: <https://doi.org/10.1002/9780470974704.ch9>.
3. Thin-film photovoltaic solar array parametric assessment / D. Hoffman [et al.] // 35th Intersociety energy conversion engineering conference and exhibit. — American institute of aeronautics and astronautics, 2000. — Jul. — URL: <https://doi.org/10.2514/6.2000-2919>.
4. Flexible high power-per-weight perovskite solar cells with chromium oxide– metal contacts for improved stability in air / M. Kaltenbrunner [et al.] // Nature materials. — 2015. — Aug. — Vol. 14, no. 10. — P. 1032–1039. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat4388>.
5. Ultra-thin and lightweight organic solar cells with high flexibility / M. Kaltenbrunner [et al.] // Nature communications. — 2012. — Jan. — Vol. 3, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms1772>.
6. Solar cell efficiency tables (version 40) / M. A. Green [et al.] // Progress in photovoltaics: research and applications. — 2012. — Jul. — Vol. 20, no. 5. — P. 606–614. — URL: <https://doi.org/10.1002/pip.2267>.
7. Green M. A. Silicon solar cells: evolution, high-efficiency design and efficiency enhancements // Semiconductor science and technology. — 1993. — Jan. — Vol. 8, no. 1. — P. 1–12. — URL: <https://doi.org/10.1088/0268-1242/8/1/001>.
8. Solar cell efficiency tables (version 41) / M. A. Green [et al.] // Progress in photovoltaics: research and applications. — 2012. — Dec. — Vol. 21, no. 1. — P. 1–11. — URL: <https://doi.org/10.1002/pip.2352>.
9. Review of status developments of high-efficiency crystalline silicon solar cells / J. Liu [et al.] // Journal of physics D: applied physics. — 2018. —

- Feb. — Vol. 51, no. 12. — P. 123001. — URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aaac6d>.
- 10.Branker K., Pathak M. J. M., Pearce J. M. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity // Renewable and sustainable energy reviews. — 2011. — Dec. — Vol. 15, no. 9. — P. 4470–4482. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.104>.
- 11.Semiconducting group 15 monolayers: a broad range of band gaps and high carrier mobilities / Sh. Zhang [et al.] // Angewandte chemie international edition. — 2015. — Dec. — Vol. 55, no. 5. — P. 1666–1669. — URL: <https://doi.org/10.1002/anie.201507568>.
- 12.High thermoelectric performances of monolayer SnSe allotropes / Z.-Y. Hu [et al.] // Nanoscale. — 2017. — Vol. 9, no. 41. — P. 16093–16100. — URL: <https://doi.org/10.1039/c7nr04766e>.
- 13.Akinwande D., Petrone N., Hone J. Two-dimensional flexible nanoelectronics // Nature communications. — 2014. — Dec. — Vol. 5, no. 1. — URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms6678>.
- 14.Coey J. M. D., Viret M., von Molnár S. Mixed-valence manganites // Advances in physics. — 1999. — Mar. — Vol. 48, no. 2. — P. 167–293. — URL: <https://doi.org/10.1080/000187399243455>.
- 15.Dagotto E., Hotta T., Moreo A. Colossal magnetoresistant materials: the key role of phase separation // Physics reports. — 2001. — Apr. — Vol. 344, no. 1-3. — P. 1–153. — URL: [https://doi.org/10.1016/s0370-1573\(00\)00121-6](https://doi.org/10.1016/s0370-1573(00)00121-6).
- 16.Cheong S.-W., Mostovoy M. Multiferroics: a magnetic twist for ferroelectricity // Nature materials. — 2007. — Jan. — Vol. 6, no. 1. — P. 13–20. — URL: <https://doi.org/10.1038/nmat1804>.
- 17.Snaith H. J. Perovskites: the emergence of a new era for low-cost, high-efficiency solar cells // The journal of physical chemistry letters. — 2013. — Oct. — Vol. 4, no. 21. — P. 3623–3630. — URL: <https://doi.org/10.1021/jz4020162>.