

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
Исследовательский сектор  
Практика «Испытания»**

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**

<i>Компетенция</i>	<i>Сложность</i>			
Анализ принципов работы технологий				
Моделирование систем и процессов				
Постановка и проведение эксперимента				
Обработка и представление полученных данных				

**РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЕЙСА:**

<b>КОМПЕТЕНЦИЯ</b>	<b>РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ</b>
<b>Анализ принципов работы технологий</b>	<p><i>Знать:</i> основные законы школьного курса по электричеству/электронике, принципы построения электрических схем, формулы сопротивления, мощности, КПД.</p> <p><i>Уметь:</i> применять на практике знания.</p>
<b>Моделирование систем и процессов</b>	<p><i>Знать:</i> правила проектирования устройств и механизмов, проводить анализ регистрируемых данных по показаниям приборов для внесения изменений в конструкцию разрабатываемого устройства.</p> <p><i>Уметь:</i> пользоваться программами для 3D моделирования; разрабатывать и собирать экспериментальные установки, исходя из предъявляемых требований; разрабатывать методику эксперимента; собирать данные при проведении экспериментов по показаниям приборов; вносить изменения в разрабатываемые устройства, если потребуется.</p>
<b>Постановка и проведение эксперимента</b>	<p><i>Знать:</i> правила работы в лаборатории, устройство оптического микроскопа.</p> <p><i>Уметь:</i> проводить химические эксперименты, следуя методике; работать на оптическом микроскопе, проводить его калибровку; собирать электрические схемы для определения требуемых величин.</p>
<b>Обработка и представление полученных данных</b>	<p><i>Знать:</i> основные формулы для обработки экспериментальных данных, а также формулы для расчета погрешностей.</p> <p><i>Уметь:</i> анализировать и интерпретировать получаемый результат, строить графики и гистограммы, оценивать погрешности.</p>

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Исследовательский сектор**  
**Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**  
**Актуальность**

В современном мире, где экологические вопросы и проблема истощения природных ресурсов становятся всё более острыми, разработка и применение возобновляемых источников энергии приобретают особую значимость. Одним из перспективных направлений в этой области является использование полимерных солнечных батарей (ПСБ). Полимерные солнечные батареи, или фотовольтаические элементы, представляют собой инновационную технологию преобразования солнечной энергии в электричество. Они отличаются от традиционных солнечных панелей, которые обычно изготавливаются из кремния или других полупроводниковых материалов, использованием электропроводящих полимеров в качестве активного слоя.

Обычно ПСБ представляет собой пленку, которая состоит из полимера, электродов из алюминия, гибкой органической подложки и защитного слоя. Процесс создания таких элементов включает несколько этапов и ряд важных моментов:

1. Выбор полимера. Для создания солнечных батарей используются полимеры, обладающие полупроводниковыми свойствами, например, полиацетилен, полипиррол или полианилин, которые способны поглощать свет и генерировать электрический ток.
2. Нанесение полимера на подложку, которая может быть изготовлена из стекла, пластика или другого материала методами испарения, распыления, осаждения из газовой фазы и другими.
3. Формирование структуры. После нанесения полимера формируется структура солнечного элемента. Это может быть однослойная или многослойная структура, которая обеспечивает эффективное поглощение света и генерацию электрического тока.
4. Тестирование и оптимизация. Готовые солнечные батареи подвергаются тестированию, чтобы определить их характеристики и эффективность.

Полимерные солнечные батареи имеют ряд преимуществ перед традиционными солнечными панелями. Низкую стоимость можно обеспечить, используя при изготовлении недорогие материалы, при этом такие ПСБ обладают гибкостью, легкостью, долговечностью и безопасны для окружающей среды и человека. По этой причине они представляют собой перспективную технологию, которая может найти применение в различных областях, включая энергетику, транспорт, строительство и другие.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
Исследовательский сектор  
Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**  
**Этапы работы над проектом**

- Анализ литературы

Пользуясь доступными вам литературными источниками, изучите строение и принцип работы полимерных солнечных элементов. Познакомьтесь с электропроводящими полимерами и их применениями, акцентируйте свое внимание на полианилине (его структурная формула, методы синтеза, свойства, принцип передачи электронов).

- Экспериментальная работа

Провести синтез электропроводящего полимера – полианилина (ПАНИ) – химическим способом. После смешивания необходимых реагентов оставить колбу с полимером не менее чем на 24 часа в первом случае в статичном состоянии, во втором – оставить перемешиваться при высокой скорости на магнитной мешалке. После синтеза профильтровать растворы. Химическую часть рекомендовано выполнять в вытяжном шкафу, используя средства индивидуальной защиты.

Провести исследования свойств ПАНИ, полученного двумя способами. В каждом опыте необходимо провести не менее пяти измерений требуемых величин, рассчитать среднее значение и погрешность.

1. Для дальнейшей работы с синтезированным полимером и определения оптимального количества для использования в качестве проводящего слоя необходимо оценить размер полученных частиц. Необходимо взять небольшое количество смеси и разбавить более чем в 10 раз. Используя оптический микроскоп, получить фотографии частиц. С помощью доступных программ по обработке изображений определить их длину и построить распределение по размерам (пример гистограммы приведен на рисунке 1; по оси X располагаются значения данных, а по оси Y отображается плотность распределения). Посчитать среднее значение размера, привести результат в микрометрах.



*Рисунок 1. Пример построенной диаграммы распределения на размерам частиц*

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Исследовательский сектор**  
**Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**

2. Определить значение сопротивления ПАНИ методом Ван дер Пау. Для этого необходимо нанести небольшое количество полимера на непроводящую подложку с четырьмя контактами и высушить. Определить, как влияет количество нанесенного полимера (в миллиграммах) на сопротивление. Построить график зависимости сопротивления от массы наносимого ПАНИ.

3. Изучить влияние взаимодействия ПАНИ с подложкой на сопротивление полимера. При этом необходимо выбрать 3-4 поверхности (это может быть стекло, другой полимер или дерево).

Разработать схему полимерного солнечного элемента (можно использовать программы для 3D-моделирования). В качестве активного слоя предполагается использование ПАНИ. Собрать прототипы 2-х типов:

- 1) используя разные материалы для подложки (2-3 штуки);
- 2) нанося полимер разными способами: полностью покрыть подложку, в виде разных рисунков (4-5 штук).

Провести испытания. Изучить эффективность устройств в зависимости от интенсивности источника освещения ( $I$ ) и угла падения света ( $\varphi$ ) на поверхность прототипа (опыты лучше проводить в темном помещении для исключения влияния других источников света). В качестве источника можно использовать лампу накаливания. Для изменения угла светового потока необходимо собрать конструкцию, корректирующую направление света. Данные должны быть представлены в таблицах и на графиках.

Рассчитать сопротивление, мощность ( $P$ ) и КПД прототипов. Построить зависимости  $P(I)$ ,  $P(\varphi)$ .

Для расчета КПД воспользуйтесь формулой:

$$\eta = \frac{P_m}{P} = \frac{ff * J_1 * U_1}{P},$$

где  $P$  – мощность падающего солнечного излучения, приходящаяся на единицу поверхности,  $P_m$  – максимальная выходная мощность, отнесенная к площади его поверхности,  $ff$  – коэффициент формы ВАХ (вольт-амперной характеристики):

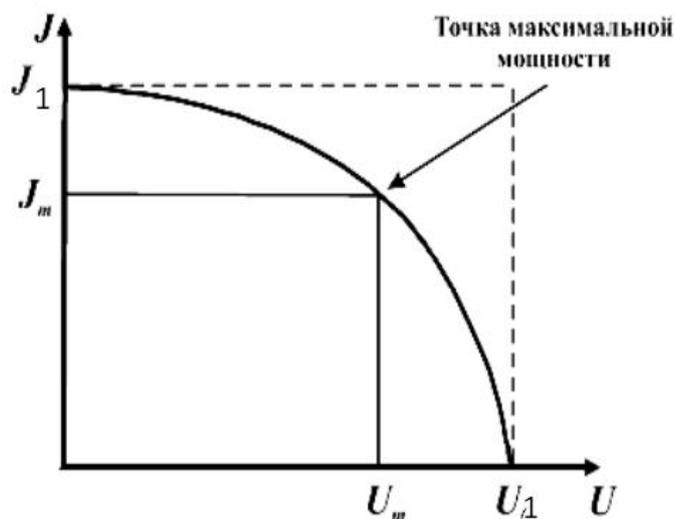
$$ff = (J_m * U_m) / (J_1 * U_1)$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
Исследовательский сектор  
Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**

где  $J_m$  и  $U_m$  – плотность тока и напряжение, соответствующие точке наибольшей мощности  $P_m$ . Пример вольт-амперной характеристики солнечного элемента приведен на рисунке 2.



*Рисунок 2. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента*

В каждом опыте необходимо провести не менее 5 измерений требуемых величин.

**Примерный перечень средств и материалов:**

- 1) мономер анилин;
- 2) соляная кислота;
- 3) персульфат аммония;
- 4) дистиллированная вода;
- 5) фильтровальная бумага;
- 6) химические реактивы и посуда;
- 7) оптический микроскоп;
- 8) мультиметр, амперметр, вольтметр;
- 9) вытяжной шкаф, халат, печатки, респиратор;
- 10) провода;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
Исследовательский сектор  
Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**

11) гибкая пластиковая подложка (например, лист ПЭТ);

12) лампа накаливания, транспортёр.

**Структура и содержание работы**

Документация в обязательном порядке должна включать в себя:

1. Титульный лист (школа, авторы, название кейса, название команды, руководитель).
2. Описание команды, распределение ролей, функций и обязанностей каждого участника команды.
3. Теоретическое введение. В разделе «Введение» обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи работы, а также предоставляется краткий литературный обзор темы исследования.
4. Методику проведения исследования. В разделе «Методика исследования» описывается порядок выполнения экспериментов, экспериментальная установка, приводится ее схема, указываются расчётные формулы, использованные для обработки полученных данных, а также приводится описание методики оценки погрешностей экспериментальных результатов.
5. Результаты проведённого исследования. В разделе «Результаты» необходимо представить полученные данные, а также результаты их обработки в виде таблиц и/или графиков, привести интерпретацию и физическое объяснение результатов. Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и подписаны.
6. Разработанные 3D-модели в форматах .obj, .stl или .step, скриншоты разработанных 3D-моделей (как системы в целом, так и отдельных ее частей (при наличии)). 3D-модели должны находиться в репозитории проекта в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.)
7. Описание схемы разработанной установки в виде изображений общей схемы установки, электрической принципиальной схемы, монтажной схемы, оптической схемы (если имеется) и т.д.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
Исследовательский сектор  
Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников**

8. В случае разработки программного обеспечения должен быть приведён алгоритм его работы в виде блок-схем.
9. Код разработанного программного обеспечения должен быть представлен в виде ссылки на репозиторий проекта с кодом в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.). Любые архивы с загруженными исходными кодам (.zip, .rar и т.п.) загружать в другие хранилища данных запрещается.
10. Фотографии разработанной установки и её составных частей.
11. Видеоролик, демонстрирующий выполнение экспериментальных измерений в соответствии с требованиями кейса. На видео необходимо продемонстрировать ход каждого эксперимента, описанного в задании, или отдельных его частей. Видео с проведённым экспериментом должно однозначно подтверждать авторство участников (во время записи ролика необходимо чётко произнести название команды, ФИО участников, номер школы, ФИО руководителя). Видеоролик располагается на стороннем видеохостинге (ВКонтакте, Rutube и др.), ссылка на видеоролик располагается в репозитории в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.). Весь эксперимент – от подготовки к работе до завершения последнего этапа – должен быть записан на видео одним дублем без склейки и монтажа. В течение всего видео в кадре должны быть разработанная командой установка и, как минимум, один из участников команды, выполняющий все операции с ней. Вход и выход участников, передача инструмента, деталей и других вещей из кадра недопустимо. Допускается использование второй камеры для более детализированной демонстрации ключевых моментов. Видео должно быть со звуком, на котором отчётливо слышны подаваемые голосовые команды и действия участников. На видеозаписи должны быть хорошо различимы все элементы, влияющие на оценивание результативности. В случае, если эксперты не смогут по видеозаписи однозначно понять результат выполнения задания, принимается решение не в пользу участника.
12. Заключение. Раздел «Заключение» включает в себя краткое изложение результатов работы, подведение итогов исследования, обсуждение его практической и

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
Исследовательский сектор  
Практика «Испытания»**

---

**Кейс № 2 Солнечные батареи на основе органических полупроводников** теоретической значимости. Также могут быть предложены дополнительные направления исследований.

13. Список литературных источников. В этом разделе приводится список использованных источников, статей, книг и другой литературы, на которые ссылается исследование. Кроме того, работа может содержать приложения с иллюстративным материалом (рисунки, схемы, таблицы, фотографии и т. п.). На каждое приложение должна быть дана ссылка в тексте работы.

**Список рекомендуемой литературы**

1. Алешин А. Н. Полимерные и композитные солнечные элементы //Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – №. 10. – С. 116–122.
2. Боганов Е. И. Органические солнечные батареи. – 2019.
3. Алешин А. Н. Солнечные элементы на основе полимерных и композитных (органика-неорганика) материалов // Инновации. – 2012. – №. 7 (165). – С. 96–108.
4. Моисеева Т. А. и др. Синтез полианилина и исследование его свойств // Наноиндустрия и технологии будущего. – С. 113.
5. Боева Ж. А., Сергеев В. Г. Полианилин: синтез, свойства и применение // Высокомолекулярные соединения. Серия С. – 2014. – Т. 56. – №. 1. – С. 153–153.