

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

<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:

КОМПЕТЕНЦИЯ	РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ
<i>Анализ принципов работы технологий</i>	<i>Знать:</i> основные законы школьного курса по термодинамике и оптике, виды энергии и принципы ее преобразования, принципы работы простейших гидравлических систем. <i>Уметь:</i> применять на практике основные законы школьного курса по термодинамике и оптике, анализировать технические системы на основе имеющихся принципиальных схем.
<i>Моделирование систем и процессов</i>	<i>Знать:</i> принципы и особенности масштабируемости физического процесса при его воспроизведении в лаборатории, подходы при воспроизведении того или иного физического процесса. <i>Уметь:</i> моделировать исследуемый процесс в лабораторном масштабе, оценивать факторы, которыми можно пренебречь при воспроизведении физического процесса в лаборатории, создавать упрощенные стенды для воспроизведения физических процессов.
<i>Постановка и проведение эксперимента</i>	<i>Знать:</i> основные этапы экспериментального исследования, основы конструирования устройств и механизмов, основы техники безопасности при проведении экспериментальных опытов, принципы работы с экспериментальными установками для получения достоверных экспериментальных данных. <i>Уметь:</i> разрабатывать и собирать простейшие экспериментальные установки, исходя из предъявляемых к ним требований, разрабатывать методику проведения и программу эксперимента, систематически собирать данные в ходе эксперимента по показаниям датчиков и регистрирующих устройств, анализировать работу установки для оценки корректности ее функционирования.
<i>Обработка и представление полученных данных</i>	<i>Знать:</i> основные расчетные формулы для обработки экспериментальных данных, а также формулы для расчета погрешностей. <i>Уметь:</i> анализировать и интерпретировать с физической точки зрения получаемый результат, оценивать погрешности и определять их источник.

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

Актуальность

Развитие труднодоступных регионов с суровыми климатическими условиями в наши дни для России является актуальной задачей в связи с освоением Арктики. Российская Арктика сегодня имеет всего три крупных города: Мурманск (~300 тыс. чел.), Норильск (~170 тыс. чел.) и Воркута (~60 тыс. чел.), – а её общая плотность населения находится на уровне ~0,6 чел/км². Однако Россия ставит перед собой масштабную комплексную задачу, включающую в себя улучшение условий жизни в арктических регионах, создание устойчивых самообеспеченных поселений, а также создание масштабной промышленной и экономической инфраструктуры, в частности развитие Северного морского пути [1]. Решение этой задачи неразрывно связано с повышением доступности энергии, в том числе тепловой – для обогрева помещений и организации горячего водоснабжения. Использование ископаемого топлива (природный газ, уголь, мазут) для этой цели может быть крайне дорого в силу низкой транспортной доступности. В то же время, несмотря на сложные климатические условия северных регионов, возможно использование солнечной энергии в качестве вспомогательного источника: в Арктических регионах в течение полярного дня средняя мощность солнечного излучения может колебаться в диапазоне от 300 до 550 Вт/м² [2], что сопоставимо с мощностью солнечного излучения в средних широтах России (например, в Москве), где солнечная тепловая энергетика уже не кажется экзотикой. Кроме того, опыт других стран показывает возможность применения солнечной энергии для отопительных нужд в северных регионах [3, 4].

Солнечные коллекторы, используемые для получения тепла из солнечного излучения, обладают одним существенным недостатком: их эффективность кратно падает при повышении температуры нагреваемого теплоносителя, который передает тепло в помещение или нагреваемой для бытовых нужд воде. Этот эффект усугубляется, если коллектор эксплуатируется в холодном климате. Связано это с возрастающими тепловыми потерями, с которыми стараются бороться различными методами. Одним из таких способов является изменение механизма поглощения солнечной энергии. В то время, как стандартная технология основана на нагреве солнцем зачерненной поверхности, от которой тепло далее передается в теплоноситель, в новой технологии солнечное излучение поглощается непосредственно в теплоносителе, расположенном в прозрачном объеме или текущем в прозрачных каналах. Для повышения поглощающих свойств теплоносителя необходимо

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

растворение микронных или субмикронных частиц, способных хорошо поглощать солнечное излучение. Суспендированные частицы в жидкости при этом имеют большую суммарную площадь контакта с жидкостью, интенсифицируя теплообмен. Данное решение снижает тепловые потери за счет отсутствия перегретых зачерненных поверхностей, обращенных к окружающей среде. Однако на практике реализация новой технологии сбора солнечной энергии (объемное поглощение в теплоносителе) требует подбора как самого типа частиц и способа растворения его в жидкости для получения стабильной суспензии, так и их оптимальной концентрации для обеспечения наилучших поглощающих свойств теплоносителя в прозрачном объеме солнечной установки, имеющем *заданную* геометрию. Дополнительно, учитывая хрупкую экосистему Арктики, требуется создание максимально экологически безопасной тепловой системы. Заметно способствовать этому может использование нетоксичных материалов частиц, например, растворимого кофе [3, 5, 6]. Как показывают недавние исследования, растворимый кофе представляет собой нетоксичную и стабильную суспензию нанометровых частиц, применимую для технологии объемного поглощения энергии. Вопрос ее использования заключается в «настройке» ее оптических свойств, а именно – в выборе оптимальной концентрации, которая позволяет поглотить максимальную долю падающей в прозрачный объем коллектора энергии солнечного излучения, но при этом не делая жидкость сильно непрозрачной, что превратило бы ее в аналог непрозрачной зачерненной поверхности с высокими показателями тепловых потерь.

Этапы работы над проектом

- Анализ литературы

Пользуясь доступными Вам литературными источниками, изучите принцип работы солнечных тепловых коллекторов, а также принцип работы коллектора прямого поглощения. Познакомьтесь с наножидкостями и суспензиями на основе кофе.

- Экспериментальная работа

Разработайте лабораторную установку для определения эффективности прямого поглощения световой энергии в жидкости. Под эффективностью поглощения световой энергии следует понимать отношение поглощенной в жидкости доли световой энергии Q_t (которая затрачивается на нагрев жидкости) к полному количеству энергии светового

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

излучения Q_c , попавшего на поверхность рабочего объема установки с испытуемой жидкостью в течение времени ее нагрева (1):

$$\eta = \frac{Q_t}{Q_c} = \frac{cm\Delta T}{Fl\tau} \quad (1)$$

где ΔT , °C – подогрев образца жидкости массой m , кг; в течение времени τ , с; обладающей средней удельной теплоемкостью c Дж/(кг · °C) в диапазоне температур нагрева; F , м² – площадь облучаемой светом поверхности; I , Вт/м² – мощность светового излучения.

Для лучшей воспроизводимости результатов и систематичности проведения экспериментов в качестве источника светового излучения предлагается использовать галогеновую лампу мощностью до 500 Вт. Мощность излучения такой лампы приведена в таблице 1.

Таблица 1. Мощность излучения галогеновой лампы (2900 K), мощностью 500 Вт, на различном удалении от нее.

s , м	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
I , Вт/м ²	263	328	420	553	764	1150	1755	3097	8596	14900

Для проверки гипотезы о преимуществе объемного поглощения энергии проведите сравнительные тесты:

1) В первой серии тестов определите эффективность поглощения светового излучения в наножидкости на основе растворимого кофе, размещенной в прозрачном объеме, например, плоскодонной колбе объемом 500 мл. Для этого измеряйте скорость нагрева жидкости непрерывно или в определенном интервале температур и соотнесите это с потоком энергии от источника света.

2) Во второй серии тестов воспроизведите поглощение световой энергии стандартным способом – в воде, размещенной в непрозрачном зачерненном объеме. Этим объемом может служить та же колба, но покрытая слоем черной краски или другого материала, хорошо поглощающего световое излучение. В идеальном случае форма и размеры объемов для двух серий измерений должны быть одинаковыми. Для большей достоверности получаемых

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

результатов проведите опыты при нескольких различных температурах: начиная от комнатной и заканчивая повышенными температурами, например, 80°C.

Наножидкость на основе кофе изготавливается путем заваривания растворимого кофе в кипятке (температура жидкости – выше 95 °C). Количество завариваемого кофе (т.е. его концентрация) является предметом исследования: необходимо определить, при какой концентрации будет достигнута наивысшая эффективность поглощения световой энергии. Рекомендуемый диапазон концентрации кофе – до 5% масс.

Проводя лабораторные опыты, стоит помнить, что световое излучение каждого конкретного источника имеет свой спектр – зависимость мощности излучения от длины волны. При этом реальные вещества имеют спектр поглощения – зависимость доли поглощаемой энергии светового излучения (степени черноты) от длины волны падающего излучения. В качестве одного из заданий участникам необходимо определить, как могут измениться результаты экспериментов при переходе к естественному свету за счет изменения спектра излучения (лампы накаливания, в отличие от Солнца, имеют планковский спектр излучения). Солнечный спектр излучения можно получить в справочных материалах [7]. Говоря простыми словами, участникам, выполняющим проект, необходимо предложить методику пересчета оптимальной концентрации кофе для случая освещения наножидкости солнечным излучением. При этом исходные данные по оптимальной концентрации в данном проекте определяются участниками в опытах с искусственным освещением. Для выполнения этого пункта задания следует обратить внимание на рисунок 1, где показана зависимость поглощения светового излучения кофейной наножидкостью. Она представлена в виде зависимости коэффициента экстинкции, $k(\lambda)$, являющегося мерой ослабления светового излучения в слое жидкости толщиной l (2):

$$k(\lambda) = -\frac{1}{l} \ln \left(\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} \right) \quad (2)$$

где $I(\lambda)$ и $I_0(\lambda)$ – **удельные** мощности падающего и прошедшего через слой жидкости пучка света на длине волны света λ , Вт/(м²·нм), соответственно.

Все полученные в работе результаты представьте в виде графиков и таблиц. Рассчитайте погрешности полученных данных.

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

Дополнительно: предложите свой вариант конструкции солнечного коллектора прямого поглощения с кофейной наножидкостью. Сопровождение схемы оценочными расчетами конструкции приветствуется. Оцените оптимальную концентрацию частиц кофе в наножидкости для геометрии прозрачного объема в предлагаемом коллекторе. Какие материалы могут быть использованы вместо растворимого кофе? Обоснуйте ваш ответ.

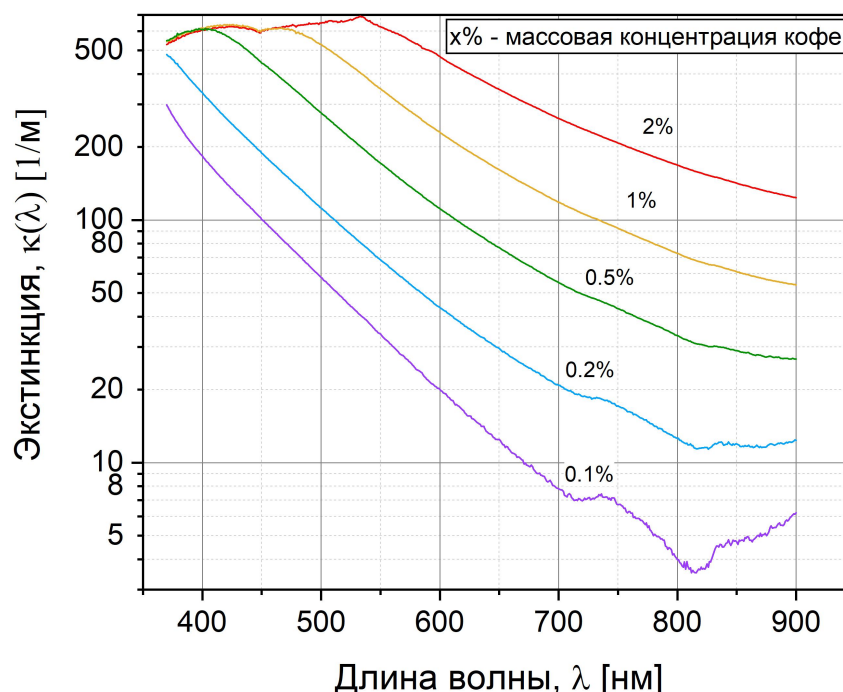


Рисунок 1. Экстинкция растворимого кофе [3]

Примерный перечень средств и материалов для выполнения задания

- стеклянные колбы объемом 500 мл;
- черная краска;
- галогенная лампа мощностью до 500 Вт;
- растворимый кофе;
- весы;
- температурные датчики;
- датчики интенсивности светового излучения;
- вода;

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

- штатив;
- индивидуальные средства защиты: затемняющие очки (наиболее оптимально – сварочные), теплоизолирующие перчатки, халат.

Требования к представлению решения задания

Представляемое решение задания должно включать в себя анализ теоретических и экспериментальных исследований по сбору солнечной тепловой энергии, в частности по коллектору прямого поглощения. Помимо литературного обзора участники представляют описание установки, разработанной для проведения опытов, включая её принципиальную схему. Приводится описание методики выполнения опытов, а также расчётные уравнения, использовавшиеся при обработке и анализе данных, включая расчёт погрешностей результатов измерений. Также участники приводят необходимые графики и таблицы, содержащие основные результаты экспериментов. Описание методики проведения экспериментов должно обладать такой степенью подробности, которая позволит провести независимое воспроизведение опытов и их результатов.

Представляемое решение должно быть оформлено в виде машинописного текста. Рекомендуется использование шрифта Times New Roman 12-го кегля с междустрочным интервалом, равным 1,5 высоты строки. Отступы от левого края – 25 мм, отступы от правого, нижнего и верхнего края – 20 мм. Объём решения – не более 15 страниц формата А4, включая рисунки и таблицы, без учёта приложения.

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.

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

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.
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 кодами (.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 прохождение каждого эксперимента, описанного в задании, или отдельных его частей. Видео с проведённым экспериментом должно однозначно подтверждать авторство

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

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 видео должны быть отчётливо слышны подаваемые голосовые команды и действия участников. На видеозаписи должно 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 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 ссылаются в исследовании. 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. Дмитриев А.С. Введение в нанотеплофизику / А. С. Дмитриев. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 790 с.: ил. — (Нанотехнологии);

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

**Кейс № 1 Объёмное поглощение солнечного излучения для эффективной
генерации тепла**

2. Даффи Д. Основы солнечной теплоэнергетики: [учебно-справочное руководство] / Дж. Даффи, У. Бекман ; пер. с англ. О. С. Попеля [и др.]. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 885 с.: рис., табл.

Список источников:

1. Государственная программа Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации"
<https://minvr.gov.ru/activity/gosprogrammy/sotsialno-ekonomicheskoe-razvitie-arkticheskoy-zony/>
2. Братков В.В., Воронин А.П. Метеорология и климатология: Уч. пос. / МИИГАиК: Изд-во МИИГАиК, 2015, 209 с.
3. P. G. Struchalin, Y. Zhao, B. V. Balakin, Field study of a direct absorption solar collector with eco-friendly nanofluid, Applied Thermal Engineering, vol. 243, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122652>
4. Sweden's largest concentrating solar park supply heat to district heating.
<https://www.absolicon.com/swedens-largest-concentrating-solar-park-supply-heat-to-district-heating/>
5. F.A. Essa, Ammar H. Elsheikh, Almoataz A. Algazzar, Ravishankar Sathyamurthy, Mohamed Kamal Ahmed Ali, Mohamed Abd Elaziz, K.H. Salman. Eco-friendly coffee-based colloid for performance augmentation of solar stills, Process Safety and Environmental Protection, Volume 136, 2020, Pages 259-267.
6. Boris V. Balakin, Pavel G. Struchalin. Eco-friendly and low-cost nanofluid for direct absorption solar collectors, Materials Letters, Volume 330, 2023, 133323.
7. PVE education portal. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/appendices/standard-solar-spectra>

**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:

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

**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 (φ) 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.

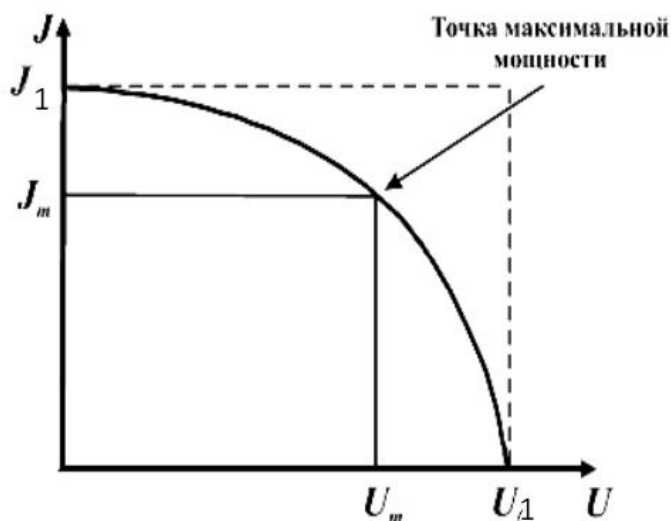


Рисунок 2. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

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.

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

<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:

КОМПЕТЕНЦИЯ	РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ
<i>Анализ принципов работы технологий</i>	<i>Знать: закон Фурье, <u>теплота</u> парообразования и конденсации. Уметь: искать и анализировать литературу по теме, применять на практике знания по термодинамике</i>
<i>Моделирование систем и процессов</i>	<i>Знать: синтаксис любого языка программирования для разработки модели кипения, теплопередачи и конденсации; основы термодинамики Уметь: пользоваться инструментами программирования</i>
<i>Постановка и проведение эксперимента</i>	<i>Знать: правила безопасности при работе с низкими температурами Уметь: пользоваться измерительными приборами, конструировать экспериментальные установки</i>
<i>Обработка и представление полученных данных</i>	<i>Знать: правила расчета погрешностей, МНК Уметь: строить графики с подбором масштабов по осям, проводить сглаживающие кривые по экспериментальным точкам с применением МНК, рассчитывать погрешности измерений</i>

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

Актуальность

Порядка 60% территории России находится в условиях криолитозоны – зоны многолетнемёрзлых грунтов (ММГ). На просторах мерзлоты располагается 38% отечественных нефтяных месторождений, большая часть разведанных запасов также находится в криолитозоне. В силу сезонного изменения температурного режима и техногенного воздействия происходит таяние мерзлотных грунтов, приводящее к деформации, поломкам, разрушению объектов инфраструктуры на нефтяных и газовых месторождениях. Для поддержания устойчивости наземных сооружений и трубопроводов необходимо сохранение мёрзлого состояния грунтов. Для термостабилизации мёрзлых грунтов используют сезонно-действующие охлаждающие устройства (СОУ).

Принцип работы СОУ прост: герметичная металлическая конструкция, заполненная легкокипящим хладагентом, помещается в толщу ММГ. До 25 м конструкции под землей (испаритель) обеспечивает теплообмен хладагента с грунтом, до 3 м конструкции над землей (воздушный конденсатор) с развитой внешней поверхностью обеспечивает теплообмен испарившегося хладагента с воздухом. В зимнее время, когда температура воздуха значительно ниже температуры грунтов, такая конструкция позволяет усилить передачу тепла из толщи грунтов в окружающую среду и поддерживать мерзлое состояние. Естественно, что основным показателем эффективности такого устройства будет теплопроводность, определяющаяся несколькими факторами: принципиальными конструктивными особенностями, материалами изготовления сварного корпуса, качеством сборки и установки, параметрами хладагента. В качестве хладагента используют аммиак, сероводород, диоксид углерода, жидкости на основе пропиленгликоля, различные виды фреонов. Выбор хладагента – одна из самых базовых и в то же время важнейших задач при проектировании СОУ. Параметрами хладагента определяется и интенсивность теплообмена – то есть эффективность работы СОУ, – и рабочее окно температур (диапазон температур воздуха и грунта, при которых хладагент будет испаряться и конденсироваться, – СОУ будет работать). Современные исследования также демонстрируют потенциал применения наножидкостей в качестве хладагента для СОУ.

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

Техническое задание

Экспериментальная часть

Необходимо экспериментально оценить зависимость эффективности работы СОУ от используемого хладагента.

Разработайте лабораторную установку для определения эффективности работы СОУ. Под эффективностью следует понимать быстроту отвода тепла от охлаждаемой среды $\Delta Q/\Delta t$. Для воспроизведения реальных условий необходимо достижение низких температур. Для начального охлаждения “грунта” предлагается использовать морозильную камеру (до -16°C) для поддержания низкой температуры воздуха – лёд с поваренной солью. Для приближения к реальным условиям и повышения точности эксперимента необходимо обеспечить как можно лучшую стабильность температуры воздуха и ограничить нагрев “грунта” окружающей средой (и/или учесть его влияние). Для корпуса СОУ используйте хорошо проводящие тепло материалы (например, металлы: медь, латунь, сталь). При обработке результатов учтите также влияние теплопроводности корпуса на итоговый процесс теплопередачи. Для оценки потока тепла через корпус СОУ может быть использован закон теплопроводности Фурье:

$$P = -\kappa S \Delta T / l$$

где P – мощность теплопередачи, κ – коэффициент теплопроводности, S – площадь теплопередачи, ΔT – перепад температур, l – толщина материала. Количество теплоты, отведённое СОУ от охлаждаемого грунта, может быть рассчитано как:

$$Q = cm \Delta T$$

где Q – количество теплоты, m – масса вещества грунта, ΔT – изменение температуры вещества грунта (без учёта теплообмена с окружающей средой!).

Для измерения температур воздуха, грунта, хладагента предлагается использовать термопары.

Обратите внимание, что для успешного проведения эксперимента необходимо, чтобы хладагент кипел при температуре, меньшей, чем температура “грунта”, но большей, чем температура воздуха.

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

Проведите эксперименты для различных жидкостей-хладагентов, диапазонов температур между грунтом и воздухом (испарителем и конденсатором).

Все полученные результаты представьте в виде графиков и таблиц. Рассчитайте погрешности полученных данных. Оцените, как изменятся результаты эксперимента при его проведении в реальных арктических условиях с реальными СОУ. Предложите свои варианты улучшения эффективности работы СОУ.

Часть моделирования

Необходимо разработать программную модель работы СОУ с использованием наножидкости в качестве хладагента; оценить эффективность работы такого СОУ; сравнить с экспериментальным и теоретическим результатом для других хладагентов; изучить зависимость эффективности от параметров наножидкости (размеров и концентрации частиц).

Результаты оценки эффективности необходимо представить в виде таблицы и на графиках.

Регламент испытаний:

1. Описать методику постановки эксперимента, использованные допущения.
2. Продемонстрировать экспериментальную установку и ход проведения эксперимента.
3. Представить экспериментальные результаты.
4. Представить программную модель работы СОУ.
5. Представить результаты модельной оценки (графики и таблицы, описывающие эффективность работы СОУ с хладагентом - наножидкостью).

Материалы и оборудование:

- 1) хладагенты (различные виды фреонов)
- 2) термопары
- 3) калориметр
- 4) лед

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

- 5) секундомер
- 6) материалы для моделирования корпуса СОУ

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.)

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

7. Описание схемы разработанной установки в виде изображений общей схемы установки, электрической принципиальной схемы, монтажной схемы, оптической схемы (если имеется) и т.д.
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 кодами (.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 прохождение 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 должно быть хорошо различимы все элементы, влияющие на оценивание результативности. В случае, если эксперты не смогут по

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

Кейс № 3 Изучение эффективности работы сезонных охлаждающих устройств

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 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 ссылаются в исследовании. 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.

Методические материалы

1. Хрусталеv Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата. – М.: Университетская книга, 2011. – 260 с.
2. Стрижков С.Н. Повышение надежности геотехнических систем с использованием сезонно-действующих охлаждающих устройств // Научно-технический и производственный журнал «Геотехника». – 2015. – № 6. – С. 34–41.
3. Вабищевич П.Н., Васильева М.В., Горнов В.Ф., Павлова Н.В. Математическое моделирование искусственного замораживания грунтов // Вычислительные технологии. Том 19. – 2014. – №4. – С.19–31.
4. Брушков А.В., Жданев О.В., Фролов К.Н. Основы мерзотоведения: Учебник для вузов. – М.: Академический проект, 2024. – 190 с.