

**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:**

<b>КОМПЕТЕНЦИЯ</b>	<b>РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ</b>
<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  $-16^{\circ}\text{C}$ ) 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,  $\kappa$  – коэффициент теплопроводности,  $S$  – площадь теплопередачи,  $\Delta T$  – 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,  $\Delta T$  – 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 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 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. Хрусталева 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 мерзлотоведения: Учебник для вузов. – М.: Академический проект, 2024. – 190 с.