

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
технический университет»

На правах рукописи

Стрельцова Ирина Сергеевна

**Разработка математической модели системы  
термостабилизации угля в полувагоне**

Направление подготовки  
27.04.04 – «Управление в технических системах»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2017



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена исследованию проблем выполнения погрузочно – разгрузочных работ на железнодорожном транспорте в зимнее время.

**Актуальность работы.** Большинство всех грузов, транспортируемых в стране, чаще всего насыпные, такие как, щебень, песок, уголь, руда, гравий и т.п. Они являются источниками энергии и сырья для промышленности и перевозятся регулярно во все периоды года. В данной обстановке, угледобывающие компании вынуждены пользоваться услугами железнодорожного транспорта. Для транспортировки угля применяются полувагоны. В зимний период года в условиях низких температур и больших расстояний дальнепривозные угли, предварительно не подготовленные, прибывают на предприятия в сильно смерзшемся состоянии, а также происходит примерзание груза к полу и стенкам вагона. Зимняя смерзаемость приводит к осложнениям при выгрузке сыпучих материалов из железнодорожных вагонов, и в свою очередь, приносит горнодобытчикам и получателям их материалов огромные миллионные убытки, в связи с этим необходимо восстановить сыпучие свойства угля.

Во время выгрузки угля часто используют рабочих с лопатами, ломками и прочей подручной техникой. Традиционно для выгрузки смерзшегося угля из полувагона использовались грейферные краны, эскалаторы, но такие способы являются некачественные, т.к. в ходе выгрузки угля сильно повреждаются полувагоны.

Также для выгрузки сыпучих грузов используют вагоноопрокидыватели. Цикл разгрузки в таких вагоноопрокидывателях длится около 30 секунд на вагон, а производительность может достигать до 120 вагонов/ч. Поворотный вагоноопрокидыватель - это решение для быстрой, автоматизированной разгрузки опрокидыванием пары вагонов за раз. Его относительно низкая стоимость также делает его идеальным для таких задач, как разгрузка вагонов.

В настоящее время для выгрузки смерзшегося угля из вагонов используются вагоноразмораживатели, где под воздействием высоких температур происходит оттаивание и размягчение угольного монолита. В целях ускорения перевалки груза через вагоноопрокидыватель, повышения эффективности разморозки вагонов в тепляках и исключения повторного охлаждения вагонов строятся комплексы утепленных ветрозащитных сооружений.

Учитывая все изложенное выше можно сделать вывод о необходимости создания способа выгрузки из полувагонов смерзшегося угля и других грунтов, позволяющего повысить скорость их выгрузки без использования дополнительных механических воздействий на глыбу смерзшегося угля, а также снизить риск производственного травматизма и число выведенных из строя полувагонов; а именно необходимо разработать такой способ, чтобы можно было поддерживать высокую температуру в полувагоне во время транспортировки.

**Цель работы:** Разработка методов и средств борьбы со смерзанием угля при транспортировке в полувагонах в зимний период времени.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи:**

- анализ существующих способов выгрузки из вагона смерзшегося угля, определение их положительных и отрицательных сторон;
- разработка способа поддержания температуры в полувагоне при транспортировке;
- оценка затрат энергии, необходимой для поддержания температуры в процессе движения;
- расчет и проектирование нетрадиционной системы поддержания температуры для полувагонов, перевозящих уголь;
- разработка математического описания идеализированного объекта «вагон-смерзшийся уголь-нагревательная система»;
- создание математической модели, проведение имитационного моделирования, и создание визуализации модели.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** было проведено исследование существующих способов выгрузки из вагона смерзшегося угля, определены их положительные и отрицательные стороны, а также была объяснена необходимость разработки инновационного способа выгрузки.

**В первой части работы** был рассмотрен способ модернизации погрузки и выгрузки угля в полувагоны, а также разработка система поддержания температуры в полувагоне при его транспортировке, выбор оборудования для данной системы, а также расчет его параметров и проектирование. В ходе исследования системы провели эксперимент, как на нагревающую систему воздействуют внешние природные показатели. В результате проверки данного способа можно сделать вывод, что внешние воздействия оказывают влияние на систему, однако не мешают ей качественно работать.

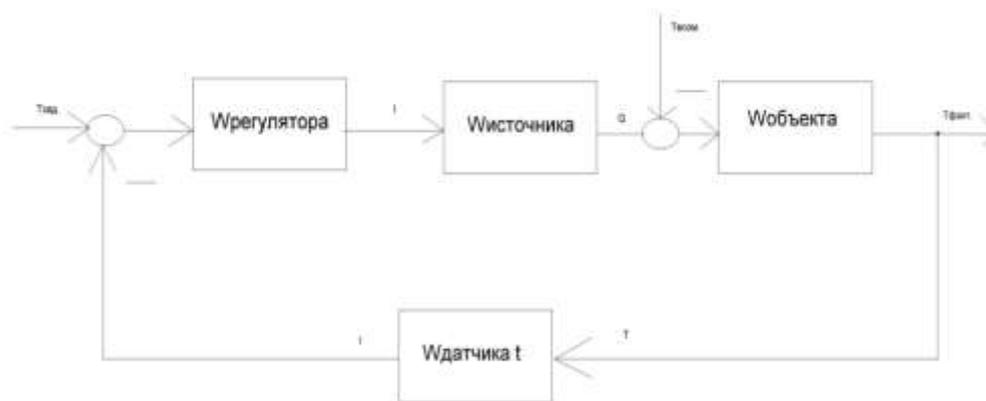


Рисунок 1 - Структурная схема системы поддержания температуры

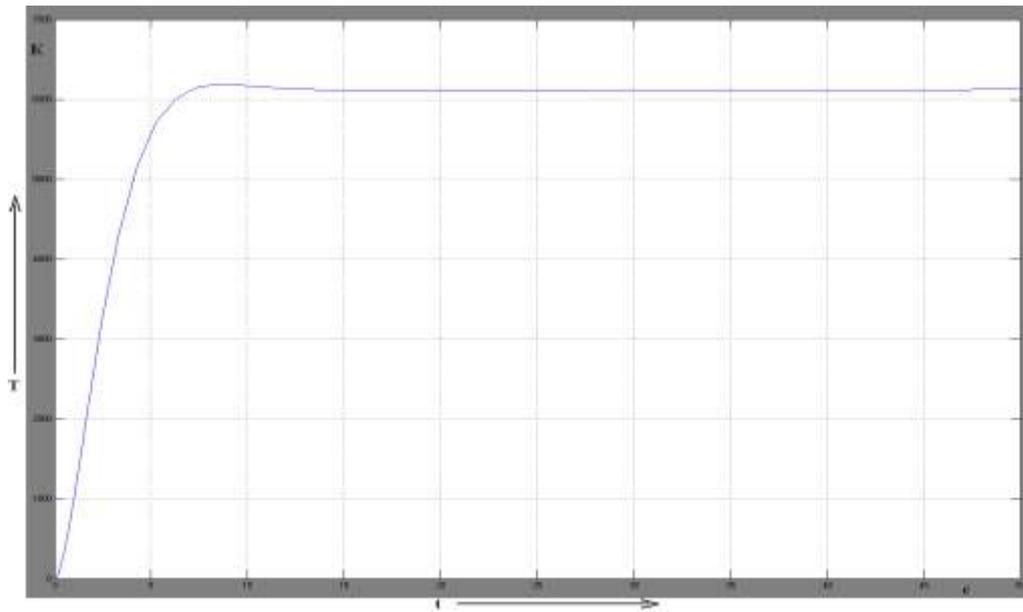


Рисунок 2 – Переходный процесс системы при наружной температуре  $-10^{\circ}\text{C}$

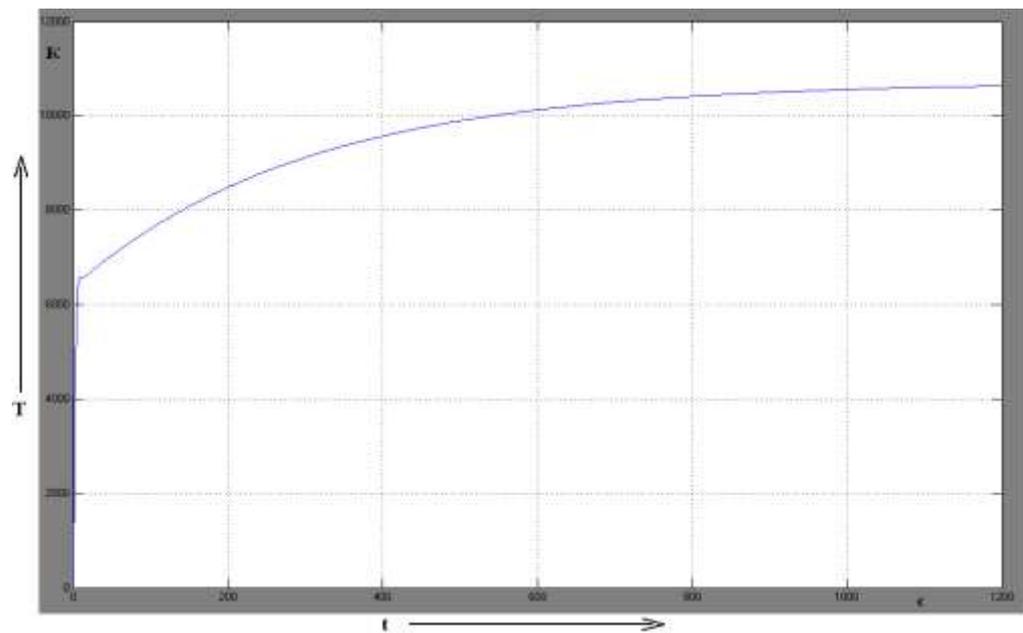
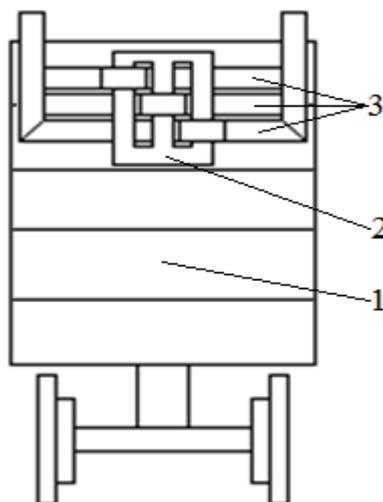


Рисунок 3 - Переходный процесс системы при воздействии ветра и наружной температуры  $-10^{\circ}\text{C}$

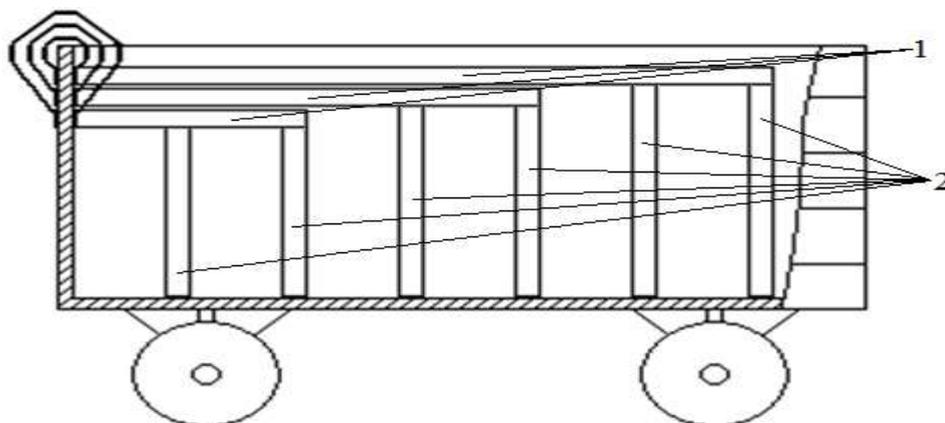
В процессе работы был выполнен расчет трансформатора, результаты которого приведены в приложении. Работы по расчету и проектированию нагревательного элемента трансформаторного типа проводились в соответствии с методиками, изложенными в учебном пособии «Расчет трансформаторов». Расчет производился для трехфазного трансформатора стержневого типа с concentрическими обмотками.

Также был выполнен расчет и проектирование нагревающей части НЭТ, в качестве материала для нее был выбран алюминий. Приведены схематичные изображения размещения НЭТ в полувагоне (расположение трансформатора и нагревательных элементов) на рисунках 4-6:



1 – полувагон; 2 – трансформатор; 3 – нагревательные элементы от различных фаз трансформатора

Рисунок 4 – Схема расположения НЭТ в полувагоне (вид спереди)



1 – шины; 2 – нагревательные полосы

Рисунок 5 – Схема расположения НЭТ в полувагоне (вид сбоку, в разрезе)

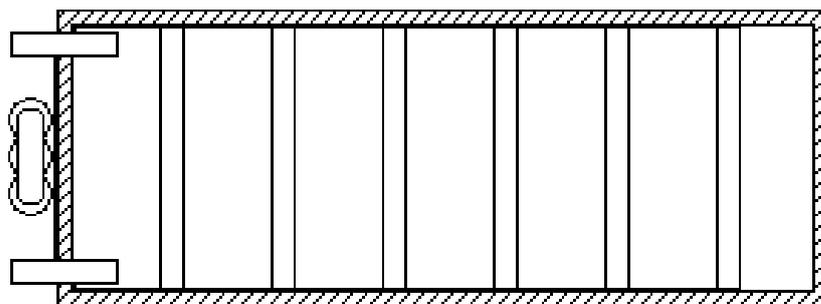


Рисунок 6 – Схема расположения НЭТ в полувагоне (вид сверху)

В итоге были рассчитаны все необходимые параметры нагревающей системы НЭТ. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры нагревающей системы НЭТ

| Номер нагревательной полосы                           | 1       | 2      | 3       | 4      | 5       | 6      |
|---|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Площадь поперечного сечения нагревательной полосы, мм | 109.775 | 116.75 | 130.491 | 140.5  | 160.827 | 176.4  |
| Ширина нагревательной полосы (при толщине 5 мм), мм   | 21.955  | 23.35  | 26.1    | 28.1   | 32.1654 | 35.28  |
| Напряжение на нагревательной части, В                 | 1.772   | 1.772  | 1.486   | 1.486  | 1.2     | 1.2    |
| Ток в нагревательной полосе, А                        | 1025.6  | 1057.7 | 1022.4  | 1060.9 | 1017.6  | 1065.7 |
| Мощность нагрева полосы, Вт                           | 1817.2  | 1817.2 | 1519.2  | 1519.2 | 1221.1  | 1221.1 |

Как следует из таблицы 1, мощность падает с увеличением расстояния от трансформатора до пары нагревательных полос. Это связано с потерями в шинах, ведущих от трансформатора к полосам.

**Во второй части работы** была разработана двухпозиционная система регулирования температуры нагревательного элемента. Можно сделать вывод, что система позволяет плавно регулировать температуру нагревательного элемента, а так же обеспечивает плавный рост температуры практически без перерегулирования (рисунок 8).

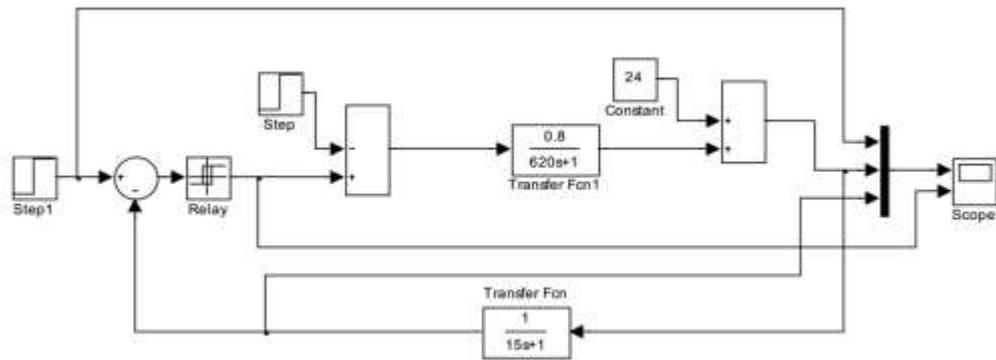


Рисунок 7 - Математическая модель системы двухпозиционного регулирования температуры нагревательного элемента

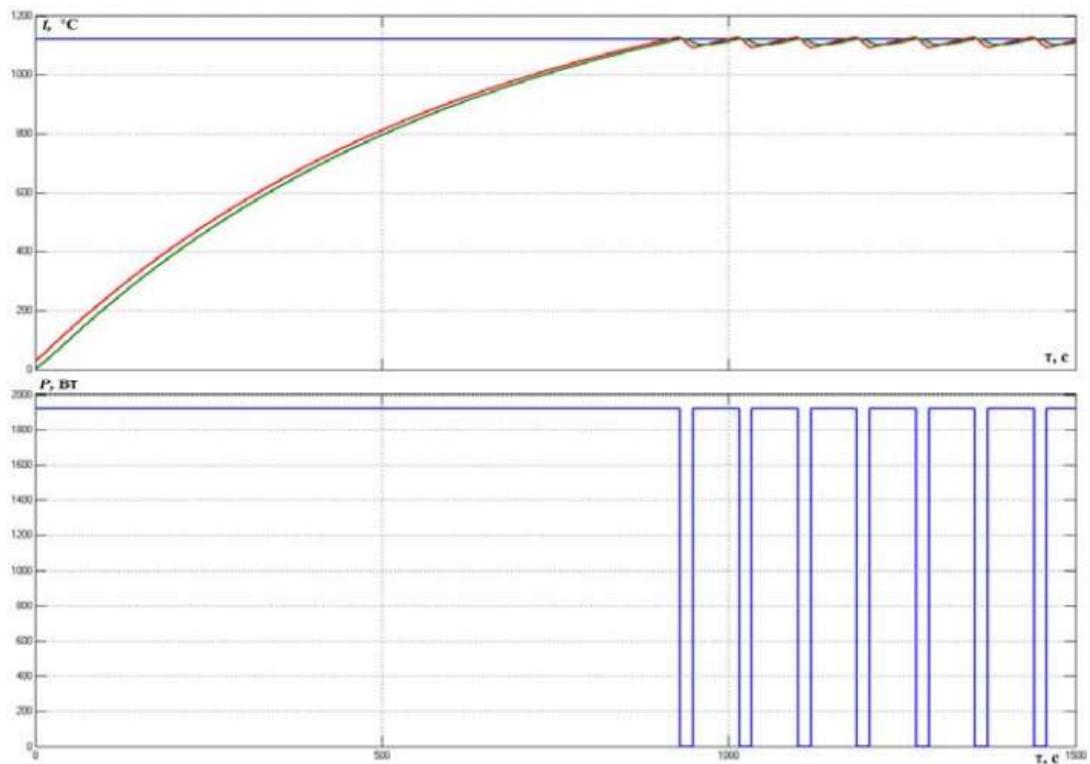


Рисунок 8 – Результаты моделирования

Также в работе была разработана функциональную схему системы поддержания температуры в полувагоне, на которой изображена связь головного тепловоза и системы управления, установленной на нем, с НЭТом, расположенным на полувагоне.

В третьей части работы была показана работа системы на примере визуализации в программе ANSYS Workbench 16.1. Была спроектирована тепловая математическая модель.

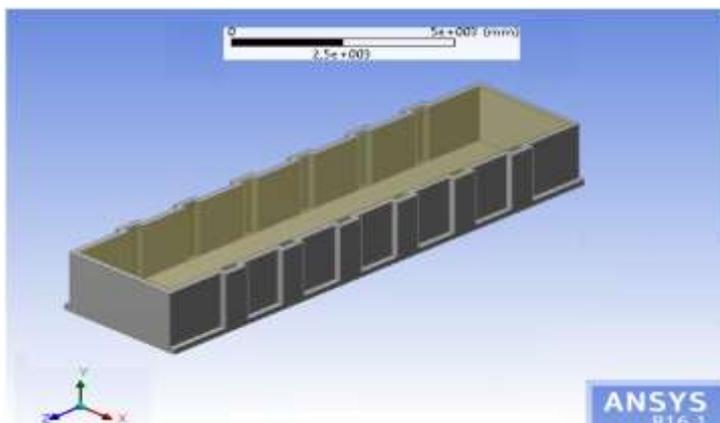


Рисунок 9 – Геометрическая модель «полувагон – уголь – нагревательные шины» в модуле Design Modeler среды ANSYS

Затем были заданы свойства материалов элементов геометрической модели. Далее были заданы температурные нагрузки и время нагрева для расчета и моделирования системы в модуле Mechanical среды ANSYS. Результаты моделирования приведены на рисунках 10 и 11.

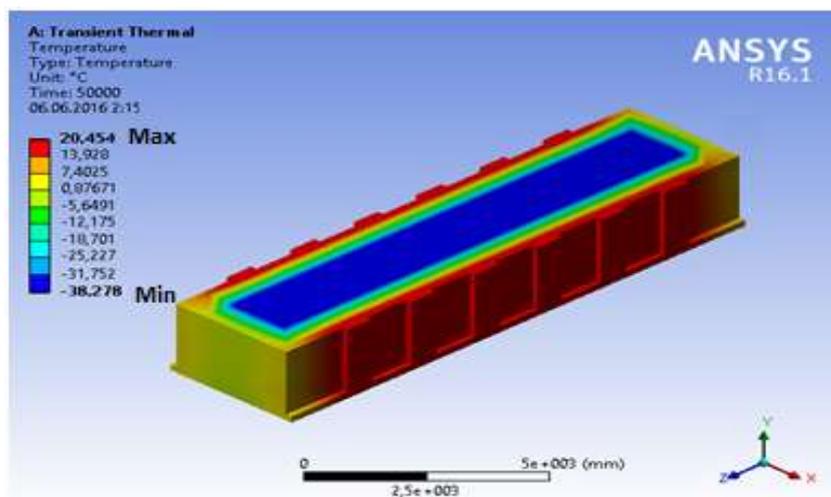


Рисунок 10 – Результаты моделирования объекта «полувагон – нагревательные шины – уголь» в модуле Transient Thermal среды ANSYS Workbench 16.1 (3D модель)

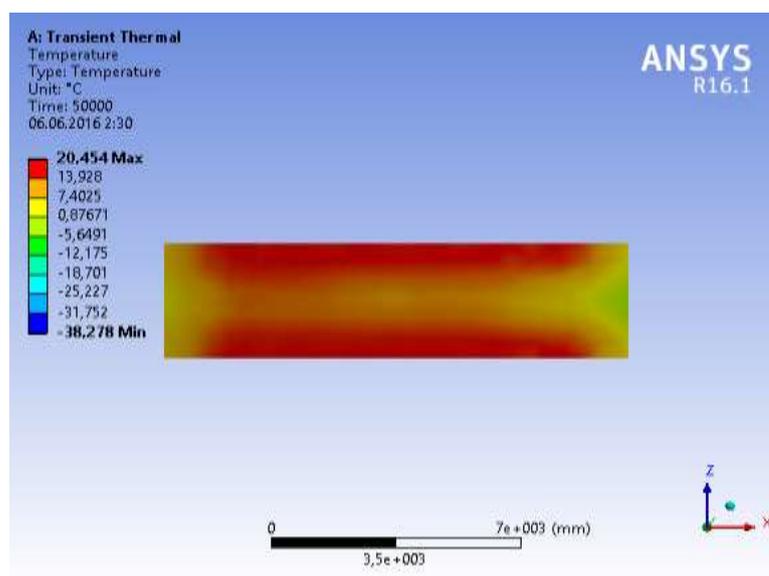


Рисунок 11 – Результаты моделирования объекта «полувагон – нагревательные шины – уголь» в модуле Transient Thermal среды ANSYS Workbench 16.1 (вид снизу)

По результатам моделирования можно сделать вывод, что при заданных параметрах окружающей среды и температуре нагревательных элементов полувагон с углем прогревается приблизительно в течении 14 часов с момента подачи напряжения на вход первичной обмотки НЭТ. Как видно из рисунка 11, уголь вблизи стенок полувагона прогревается до температуры  $+13^{\circ}\text{C}$ . Днище полувагона также прогревается в диапазоне от  $-5$  до  $+13^{\circ}\text{C}$  (рисунок 11).

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что предлагаемый способ является эффективным и позволяет решить проблему смерзания угля вблизи стенок и днища полувагона, а значит, является эффективным при транспортировке угля в зимний период время.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Проведено исследование существующих способов выгрузки из вагона смерзшегося угля, определены их положительные и отрицательные стороны.

2 Разработана система поддержания температуры в полувагоне при его транспортировке, было выбрано оборудование для данной системы, а также расчет его параметров и проектирование.

3 Рассчитана и спроектирована нетрадиционная система поддержания температуры для полувагонов, перевозящих различные грунты.

4 Был проведен эксперимент, как на нагревающую систему воздействуют внешние природные показатели, такие как наружная температура воздуха и ветер.

5 Была разработана двухпозиционная система регулирования температуры нагревательного элемента.

5 Была проведена визуализация нагревающей системы.