

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Теоретические основы электротехники и энергетики»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

*Б1.В.ДВ.2.1 «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ
В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ»*

для направления подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

по магистерской программе

«Современные технологии, менеджмент и аналитика в промышленной энергетике»

Форма обучения – очная

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «*Теоретические основы электротехники и энергетики*»

Протокол № 7 от 13 января 2026 г.

Заведующий кафедрой

«*Теоретические основы электротехники и*
энергетики»

13 января 2026 г.

К.К. Ким

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ОПОП ВО

13 января 2026 г.

Е.Л. Рыжова

1. Цели и задачи дисциплины

Рабочая программа дисциплины «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ» (Б1.В.ДВ.2.1) (далее – дисциплина) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 «Электротехника и теплоэнергетика» (далее – ФГОС ВО), утвержденного 28 февраля 2018 г., приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 147, с учетом профессионального стандарта (16.065) «Инженер - проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 21 декабря 2015 г. N 1082Н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 1 января 2016 года, регистрационный №40687).

Целью изучения дисциплины «Системы разогрева и слива вязких грузов в транспортной теплоэнергетике» является приобретение теоретических и на их основе практических знаний в области систем разогрева слива вязких грузов в транспортной теплоэнергетике с учетом дальнейшего обучения и профессиональной деятельности.

Для достижения цели дисциплины решаются следующие задачи:

- виды систем и способы разогрева вязких грузов на железнодорожном транспорте;
- изучение методик и принципов расчета стационарных и нестационарных процессов протекающих при охлаждении или разогреве вязких грузов;
- построение математических и информационных моделей расчетных схем систем разогрева;
- углубленное изучение приложения Partial differential equation (PDE) ПО MATLAB.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю) является формирование у обучающихся компетенций и/или части компетенций. Сформированность компетенций и/или части компетенций оценивается с помощью индикаторов достижения компетенций.

Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
<i>ПК-1. Анализ состояния и динамики показателей качества объектов электро- и теплоэнергетики с использованием необходимых методов и средств исследований</i>	
<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энергосбережении.</i>	<i>Обучающийся знает:</i> – номенклатуру вязких грузов, перевозимых в железнодорожных цистернах. Их теплофизические характеристики; – виды систем разогрева на железнодорожном транспорте; – расчетные зависимости и принципы расчета разогрева вязких грузов на железнодорожном транспорте.

Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
<i>ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования.</i> <i>ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования.</i>	<i>Обучающийся владеет:</i> – подходами к составлению расчетных схем систем разогрева вязких грузов; – современным прикладным программным обеспечением для расчета параметров и выбора принципиальных схем систем разогрева <i>Обучающийся владеет:</i> – методикой и принципами расчета разогрева вязких грузов на железнодорожном транспорте; – графическими способами и средствами представления полученной в результате расчетов информации; – современными методами обработки и представления информации.
<i>ПК-2. Разработка, проведение и контроль организационно - технических мероприятий по обеспечению эффективной эксплуатации объектов в области электро- и теплоэнергетики.</i>	
<i>ПК-2.1.1. Знает современные проблемы теплоэнергетики и теплотехники, в том числе в области альтернативной энергетики и низкотемпературных технологий.</i>	<i>Обучающийся знает:</i> – проблемы разогрева и выгрузки вязких и застывающей грузов из железнодорожного подвижного состава существующих конструкций, включая зимний период года; – применимость проведенных расчетов систем разогрева к оценке энергоэффективности теплотехнических характеристик подвижного состава с учетом операций разогрева и выгрузки.

3. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1 «Дисциплины (модули)».

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Модуль	
		1	2
Контактная работа (по видам учебных занятий)	64	32	32
В том числе:			
– лекции (Л)	16	16	-
– практические занятия (ПЗ)	48	16	32
– лабораторные работы (ЛР)	-	-	-
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	108	36	72
Контроль	8	4	4
Форма контроля (промежуточной аттестации)	3	3	3
Общая трудоемкость: час / з.е.	180/5	72/2	108/3

Примечание: «Форма контроля» – экзамен (Э), зачет (З), зачет с оценкой (З*), курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и содержание рассматриваемых вопросов

Для очной формы обучения:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
Модуль 1			
1	Основные понятия и определения	Лекция 1. (6 часов) <i>Номенклатура вязких грузов, перевозимых в железнодорожных цистернах и их теплофизические характеристики. Способы разогрева вязких грузов на железнодорожном транспорте. Характеристики систем разогрева железнодорожных вагонов-цистерн. Классификация по способу подвода теплоты. Процессы теплообмена в природе. Перенос тепловой энергии теплопроводностью, конвекцией, излучением.</i>	<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энергосбережении. ПК-2.1.1. Знает современные проблемы теплоэнергетики и теплотехники, в том числе в области альтернативной энергетики и низкотемпературных технологий.</i>
2	Основные закономерности процессов тепло- и массообмена	Лекция 2. (6 часов) <i>Конвективный перенос тепловой энергии при разогреве вязкого груза в железнодорожной цистерне. Основные уравнения гидродинамики и теплообмена. Понятие об эквивалентной теплопроводности. Коэффициент конвекции, физический смысл величины. Принцип расчета процесса теплообмена при разогреве вязких грузов.</i>	<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энергосбережении.</i>
		Самостоятельная работа 1. <i>Тепловое сопротивление плоской цилиндрической и сферической стенок. Составные стенки. Сложный теплообмен.</i>	<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энергосбережении.</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
3	<i>Уравнение теплопроводности, краевые условия.</i>	Самостоятельная работа 2. <i>Частные случаи уравнения Фурье. Краевые условия. Стационарное поле температур оболочек простейшей формы (плоская стенка, цилиндрическая стенка, шаровая стенка). Идея метода конечных элементов. Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность.</i>	<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энерго-сбережении.</i>
		Лекция 3. (4 часа) <i>Уравнение для расчета нестационарного процесса разогрева вязкого груза с использованием эквивалентной теплопроводности.</i>	<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энерго-сбережении.</i>
4	<i>Виды систем разогрева. Постановка задачи. Математическая модель процессов теплообмена</i>	Практическое занятие 1. (2 часа) <i>Виды систем разогрева на железнодорожном транспорте. Классификация. Теплообмен при разогреве затвердевающего груза в условиях естественной конвекции.</i>	<i>ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования.</i>
		Практическое занятие 2. (4 часа) <i>Постановка краевой задачи. Математическая модель процессов теплообмена. Расчетные схемы систем разогрева в железнодорожных цистернах. Разогрев груза «обогревательной рубашкой». Начальные и граничные условия расчетной схемы. Разогрев груза «обогревательными трубами». Начальные и граничные условия расчетной схемы.</i>	<i>ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования. ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования.</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
5	<i>Принцип расчета процесса разогрева затвердевающих грузов в железнодорожной цистерне</i>	Практическое занятие 3. (10 часов) Решение задачи теплопроводности методом конечных элементов (МКЭ) Основные принципы решения. Информационная модель расчетной схемы «обогревательная рубашка». Информационная модель расчетной схемы «обогревательные трубы». Приложение <i>Partial differential equation (PDE)</i> ПО MATLAB. Алгоритм работы.	ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования.
		Самостоятельная работа 3. Оценка и сопоставление результатов расчета систем разогрева «обогревательная рубашка» и «обогревательные трубы».	ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования. ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования. ПК-2.1.1. Знает современные проблемы теплоэнергетики и теплотехники, в том числе в области альтернативной энергетики и низкотемпературных технологий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
Модуль 2			
6	<i>Нестационарный тепловой режим тела с равномерным полем температур.</i>	Самостоятельная работа 4. <i>Дифференциальное уравнение процесса. Нагревание тела в среде с постоянной температурой. Температурный режим тела помещенного в среду с гармонически меняющейся температурой. Термическая инерция тела. Внутренние источники энергии в теле. Критерии неравномерности поля температур в теле.</i>	<i>ПК-1.1.1. Знает современные принципы, технологии и направления в энерго-сбережении.</i>
7	<i>Расчет процессов охлаждения и разогрева затвердевающего груза в железнодорожной цистерне</i>	Практическое занятие 4. (12 часов) <i>Принцип расчета времени естественного охлаждения вязкого груза в железнодорожной цистерне. Остывание жидкой и твердой фаз груза. Расчетные зависимости. Затвердевание груза. Расчетные зависимости. Графическое представление результатов расчета. Вид зависимости. Принцип расчета времени разогрева вязкого груза в железнодорожной цистерне, оборудованной системой электронагрева. Определение теплового потока электрических нагревателей (ТЭНов) вагона-цистерны. Учет потерь ТЭНов.</i>	<i>ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования. ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования.</i>
8	<i>Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости.</i>	Практическое занятие 5. (20 часов) <i>Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости. Расплавление груза. Расчетные зависимости. Определение скорости разогрева жидкой фазы. Графическое представление результатов расчета. Вид зависимости.</i>	<i>ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования. ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования.</i>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
		Самостоятельная работа 5. <i>Оценка результатов расчета, вывод о сроках транспортировки вязкого груза в железнодорожных цистернах и времени простоя на терминалах выгрузки.</i>	<i>ПК-1.3.1. Владеет современными методами сбора, обработки и представления информации для анализа работы электро – и теплоэнергетического оборудования.</i> <i>ПК-1.3.2. Владеет методами и принципами расчета теплоэнергетического оборудования.</i> <i>ПК-2.1.1. Знает современные проблемы теплоэнергетики и теплотехники, в том числе в области альтернативной энергетики и низкотемпературных технологий.</i>

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Для очной формы обучения:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС	Всего
1.	Основные понятия и определения.	6	0	0	0	6
2.	Основные закономерности процессов тепло- и массообмена.	6	0	0	4	10
3.	Уравнение теплопроводности, краевые условия.	4	0	0	8	12
4.	Виды систем разогрева. Постановка задачи. Математическая модель процессов теплообмена	0	6	0	0	6
5.	Принцип расчета процесса разогрева затвердевающих грузов в железнодорожной цистерне	0	10	0	24	34
6.	Нестационарный тепловой режим тела с равномерным полем температур.	0	0	0	20	20
7.	Расчет процессов охлаждения и разогрева затвердевающего груза в железнодорожной цистерне.	0	12	0	0	12
8.	Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости.	0	20	0	52	72
	Итого	16	48	0	108	172
Контроль						8
Всего (общая трудоемкость, час.)						180

6. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Оценочные материалы по дисциплине являются неотъемлемой частью рабочей программы и представлены отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры и утвержденным заведующим кафедрой.

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Порядок изучения дисциплины следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведенном в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины, используя методические материалы дисциплины, а также учебно-методическое обеспечение, приведенное в разделе 8 рабочей программы.
2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненные задания, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, предусмотренные текущим контролем успеваемости (см. оценочные материалы по дисциплине).
3. По итогам текущего контроля успеваемости по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. оценочные материалы по дисциплине).

8. Описание материально-технического и учебно-методического обеспечения, необходимого для реализации образовательной программы по дисциплине

8.1. Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой магистратуры, укомплектованные специализированной учебной мебелью и оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: настенным экраном (стационарным или переносным), маркерной доской и (или) меловой доской, мультимедийным проектором (стационарным или переносным).

Все помещения, используемые для проведения учебных занятий и самостоятельной работы, соответствуют действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

8.2. Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства:

- MS Office;
- Операционная система Windows;
- Антивирус Касперский;
- Mathworks MATLAB не ниже версии 6.0.
- Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ».

8.3. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к современным профессиональным базам данных:

- Электронно-библиотечная система издательства «Лань». [Электронный ресурс]. – URL: <https://e.lanbook.com/> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронно-библиотечная система ibooks.ru («Айбукс»). – URL: <https://ibooks.ru/> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронная библиотека ЮРАЙТ. – URL: <https://urait.ru/> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Единое окно доступа к образовательным ресурсам - каталог образовательных интернет-ресурсов и полнотекстовой электронной учебно-методической библиотеке для общего и профессионального образования». – URL: <http://window.edu.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Словари и энциклопедии. – URL: <http://academic.ru/> — Режим доступа: свободный.
- Научная электронная библиотека "КиберЛенинка" - это научная электронная библиотека, построенная на парадигме открытой науки (Open Science), основными задачами которой является популяризация науки и научной деятельности, общественный контроль качества научных публикаций, развитие междисциплинарных исследований, современного института научной рецензии и повышение цитируемости российской науки. – URL: <http://cyberleninka.ru/> — Режим доступа: свободный.

8.4. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к информационным справочным системам:

- Национальный Открытый Университет "ИНТУИТ". Бесплатное образование. [Электронный ресурс]. – URL: <https://intuit.ru/> — Режим доступа: свободный.

8.5. Перечень печатных и электронных изданий, используемых в образовательном процессе:

- Галов В.В. Расчет процессов разогрева затвердевающих грузов при сливе из железнодорожной цистерны / В.В. Галов // Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий». – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения,

2014. – 17 с.

– Киселев И.Г., Галов В.В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности / И.Г. Киселев, В.В. Галов // Методические указания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Тепломассообмен». – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 31 с.

– Галов В.В. Выбор параметров систем разогрева вагонов-цистерн для перевозки карбамидоформальдегидного концентрата / В.В. Галов // Исследование параметров грузовых вагонов : сб. науч. тр. / под ред. А.А. Битюцкого ; Инженерный центр вагоностроения. – СПб. : ОМ-Пресс, 2011. – Вып. 10. – С. 29–40.

– Киселев И.Г., Галов В.В. Теплообмен при разогреве карбамидоформальдегидного концентрата в железнодорожных цистернах / И.Г. Киселев, В.В. Галов // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 86–89.

– Киселев И.Г., Галов В.В. Способы разогрева и слива карбамидоформальдегидного концентрата из железнодорожных цистерн / И.Г. Киселев, В.В. Галов // VI Международная научно-техническая конференция «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2009. – С. 43–45.

– Киселев И.Г., Галов В.В., Комиссаров С.Б. Интенсификация процессов теплообмена при электронагреве расплавленной серы в железнодорожных цистернах / И.Г. Киселев, В.В. Галов, С.Б. Комиссаров // XI Международная научно-техническая конференция «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения императора Александра I, 2016. – С. 47–52.

– Киселев И.Г., Галов В.В., Комиссаров С.Б. Перспективы модернизации системы электронагрева вязких грузов при сливе из железнодорожных цистерн / И.Г. Киселев, В.В. Галов, С.Б. Комиссаров // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения императора Александра I, 2016. – № 1. – С. 25–30.

– Киселев И.Г., Галов В.В., Комиссаров С.Б. Пути снижения тепловых нагрузок на котел вагона-цистерны для перевозок жидкого пека / И.Г. Киселев, В.В. Галов, С.Б. Комиссаров // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2015. – Вып. 1 (42). – С. 19–25.

– Лазарев, Ю.Ф. MatLAB 5.x / Ю.Ф. Лазарев. – К.: Издательская группа BHV, 2000. – 384 с.

– Дульнев Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена : учеб. пособие для теплофизич. и теплоэнергетич. спец. вузов / Г. Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М. : Высш. шк., 1990. – 207 с.

– Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 543 с.

– Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1969. – 440 с.

– Киселев И. Г. Расчет температурных полей узлов энергетических установок /А. И. Исакеев, И. Г. Киселев, В. М. Ляпунов, О. К. Никольская, Б. А. Соловьев. – Л. : Машиностроение, 1978. – 192 с.

– Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 600 с.

– Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. :Энергия, 1973. – 320 с.

– Румянцев А. В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности : учебное пособие / А.В. Румянцев. – Калининград. : Калинингр. у-нт, 1995. – 170 с.

– Юдаев Б. Н. Теплопередача : учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. /Б. Н. Юдаев. – М. : Высш. школа, 1981. – 319 с.

8.6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых в образовательном процессе:

- Личный кабинет ЭИОС [Электронный ресурс]. – URL: my.pgups.ru — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Электронная информационно-образовательная среда. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sdo.pgups.ru> — Режим доступа: для авториз. пользователей;
- Сайт консультационной поддержки MATLAB [Электронный ресурс]. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/> — Режим доступа: свободный;
- Методические материалы по дисциплине «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ» (Б1.В.ДВ.1.2) для направления 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по магистерской программе «Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в промышленной энергетике» [Электронный ресурс]. – URL: <http://sdo.pgups.ru/> — Режим доступа: для авториз. Пользователей;
- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – URL: <http://docs.cntd.ru/> — Режим доступа: свободный.

Разработчик рабочей программы, *доцент*

13 января 2026 г.

_____ *В.В. Галов*