

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

Кафедра «Теплотехника и теплосиловые установки»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

*дисциплины*

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

для направления

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

по магистерской программе

**«Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в  
промышленной энергетике»**

Форма обучения – очная, заочная

Санкт-Петербург  
2018

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа рассмотрена и обсуждена на заседании кафедры  
«Теплотехника и теплосиловые установки»

Протокол № 6 от «24» 04 2018 г.

Заведующий кафедрой «Теплотехника  
и теплосиловые установки»



Д.В. Никольский

«24» 04 2018 г.

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель ОПОП



И.Г. Киселев

«24» 04 2018 г.

Председатель методической комиссии  
факультета «Транспортные и  
энергетические системы»



Д.Н. Курилкин

«24» 04 2018 г.

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО, утвержденным 21 ноября 2014 г., приказ № 1500 по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по дисциплине «Системы разогрева и слива вязких грузов в транспортной теплоэнергетике».

Целью изучения дисциплины является формирование компетенций, указанных в разделе 2 рабочей программы.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- приобретение знаний, указанных в разделе 2 рабочей программы;
- приобретение умений, указанных в разделе 2 рабочей программы;
- приобретение навыков, указанных в разделе 2 рабочей программы.

## **2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**

Планируемыми результатами обучения по дисциплине являются: приобретение знаний, умений и навыков деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

### **ЗНАТЬ:**

- 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.

### **УМЕТЬ:**

- составлять расчетные схемы разогрева вязких грузов;
- использовать современное прикладное программное обеспечение для расчета параметров и выбора принципиальных схем;

### **ВЛАДЕТЬ:**

- 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.

Приобретённые знания, умения и навыки деятельности, характеризующие формирование компетенций, осваиваемые в данной дисциплине, позволяют решать профессиональные задачи, приведённые в соответствующем перечне по видам профессиональной деятельности в п. 2.4 основной профессиональной образовательной программы (ОПОП).

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих **общекультурных компетенций (ОК):**

- способность к абстрактному мышлению, обобщению анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих **общепрофессиональных компетенций (ОПК):**

- способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);
- способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);
- способность использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности (ОПК-4);

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих **профессиональных компетенций (ПК)** соответствующих виду профессиональной деятельности, на который ориентирована программа магистратуры:

**научно – исследовательская деятельность**

- способность планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований (ПК-1);

**проектно – конструкторская деятельность**

- способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности (ПК-8);

**производственно – технологическая деятельность**

- способность принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения (ПК-24);

Область профессиональной деятельности обучающихся, освоивших данную дисциплину, приведена в п. 2.1 ОПОП.

Объекты профессиональной деятельности обучающихся, освоивших данную дисциплину, приведены в п. 2.2 ОПОП.

### 3. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Системы разогрева и слива вязких грузов в транспортной теплоэнергетике» Б1.В.ДВ.2.1 относится к вариативной части и является дисциплиной по выбору учащегося.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр	
		2	3
Аудиторные занятия (всего)	108	54	54
В том числе:			
- лекции (Л)	18	18	-
- практические занятия (ПЗ)	36	36	-
- лабораторные работы (ЛР)	54	-	54
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	216	162	54
Контроль	-	-	-

Форма контроля знаний	3	3	3
Общая трудоёмкость: час / з.е.	324/9	216/6	108/3

Для заочной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Курс
		2
Аудиторные занятия (всего)	22	22
В том числе:		
- лекции (Л)	-	-
- практические занятия (ПЗ)	-	-
- лабораторные работы (ЛР)	22	22
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	298	298
Контроль	4	4
Форма контроля знаний	3	3
Общая трудоёмкость: час / з.е.	324/9	324/9

## 5. Содержание и структура дисциплины

### 5.1 Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
<b>2 семестр</b>		
1.	Основные понятия и определения.	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.
2.	Основные закономерности процессов тепло- и массообмена.	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. Тепловое сопротивление плоской цилиндрической и сферической стенок. Составные стенки. Сложный теплообмен. Принцип расчета процесса теплообмена

		при разогреве вязких грузов.
3.	Уравнение теплопроводности, краевые условия.	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. Уравнение для расчета нестационарного процесса разогрева вязкого груза с использованием эквивалентной теплопроводности.
4.	Виды систем разогрева. Постановка задачи. Математическая модель процессов теплообмена	Виды систем разогрева на железнодорожном транспорте. Классификация. Теплообмен при разогреве затвердевающего груза в условиях естественной конвекции. 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.
5.	Принцип расчета процесса разогрева затвердевающих грузов в железнодорожной цистерне	Решение задачи теплопроводности методом конечных элементов (МКЭ) Основные принципы решения. Информационная модель расчетной схемы «обогревательная рубашка». Информационная модель расчетной схемы «обогревательные трубы». Приложение Partial differential equation (PDE) ПО MATLAB. Алгоритм работы. Оценка и сопоставление результатов расчета систем разогрева «обогревательная рубашка» и «обогревательные трубы».
<b>3 семестр</b>		
6.	Нестационарный тепловой режим тела с равномерным полем температур.	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.
7.	Расчет процессов охлаждения и разогрева затвердевающего груза в железнодорожной цистерне	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.
8.	Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости.	Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости. Расплавление груза. Расчетные зависимости. Определение скорости разогрева жидкой фазы. Графическое представление результатов расчета. Вид зависимости. Оценка результатов расчета, вывод о сроках транспортировки вязкого груза в железнодорожных цистернах и времени простоя на терминалах выгрузки.

## 5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

Для очной формы обучения:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС
1.	Основные понятия и определения.	2	4	-	22
2.	Основные закономерности процессов тепло- и массообмена.	2	4	-	24
3.	Уравнение теплопроводности, краевые условия.	2	4	-	36
4.	Виды систем разогрева. Постановка задачи. Математическая модель процессов теплообмена	3	6	12	40
5.	Принцип расчета процесса разогрева затвердевающих грузов в железнодорожной цистерне	2	4	14	40
6.	Нестационарный тепловой режим тела с равномерным полем температур.	2	4		20

7.	Расчет процессов охлаждения и разогрева затвердевающего груза в железнодорожной цистерне.	3	6	14	20
8.	Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости.	2	4	14	14
<b>Итого</b>		18	36	54	216

Для заочной формы обучения:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС
9.	Основные понятия и определения.	-	-	-	10
10.	Основные закономерности процессов тепло- и массообмена.	-	-	-	33
11.	Уравнение теплопроводности, краевые условия.	-	-	-	40
12.	Виды систем разогрева. Постановка задачи. Математическая модель процессов теплообмена	-	-	4	40
13.	Принцип расчета процесса разогрева затвердевающих грузов в железнодорожной цистерне	-	-	4	45
14.	Нестационарный тепловой режим тела с равномерным полем температур.	-	-	4	45
15.	Расчет процессов охлаждения и разогрева затвердевающего груза в железнодорожной цистерне.	-	-	6	45
16.	Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости.	-	-	4	40
<b>Итого</b>		0	0	22	298

### 6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№ п/п	Наименование раздела	Перечень учебно-методического обеспечения
1	Основные понятия и определения.	Б1.В.ДВ.1.2 «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ» Методические рекомендации для практических занятий по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по магистерской
2	Основные закономерности процессов тепло- и массообмена.	
3	Уравнение теплопроводности, краевые условия.	
4	Виды систем разогрева. Постановка задачи.	

	Математическая модель процессов теплообмена	программе «Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в промышленной энергетике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://sdo.pgups.ru/">http://sdo.pgups.ru/</a> (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация). 2 Б1.В.ДВ.1.2 «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ» Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по магистерской программе «Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в промышленной энергетике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <a href="http://sdo.pgups.ru/">http://sdo.pgups.ru/</a> (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
5	Принцип расчета процесса разогрева затвердевающих грузов в железнодорожной цистерне	
6	Нестационарный тепловой режим тела с равномерным полем температур.	
7	Расчет процессов охлаждения и разогрева затвердевающего груза в железнодорожной цистерне.	
8	Нагрев твердой и жидкой фаз груза. Расчетные зависимости.	

## **7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств по дисциплине является неотъемлемой частью рабочей программы и представлен отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры и утверждённым заведующим кафедрой.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, нормативно-правовой документации и других изданий, необходимых для освоения дисциплины**

8.1 Перечень основной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. 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.
2. 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.

3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 543 с.
4. 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.

#### 8.2 Перечень дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1969. – 440 с.
2. 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.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1973. – 320 с.
5. Румянцев А. В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности : учебное пособие / А.В. Румянцев. – Калининград. : Калинингр. у-нт, 1995. – 170 с.
6. Юдаев Б. Н. Теплопередача : учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. /Б. Н. Юдаев. – М. : Высш. школа, 1981. – 319 с.

#### 8.3 Перечень нормативно-правовой документации, необходимой для освоения дисциплины

*Не предусмотрено*

#### 8.4 Другие издания, необходимые для освоения дисциплины.

1. Б1.В.ДВ.1.2 «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ» Методические рекомендации для практических занятий по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по магистерской программе «Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в промышленной энергетике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdo.pgups.ru/> (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
2. 4 Б1.В.ДВ.1.2 «СИСТЕМЫ РАЗОГРЕВА И СЛИВА ВЯЗКИХ ГРУЗОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ» Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по магистерской программе «Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в промышленной энергетике» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdo.pgups.ru/> (для доступа к полнотекстовым документам

- требуется авторизация).
3. 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.
  4. 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.
  5. 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.
  6. 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.
  7. 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.
  8. 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.
  9. Лазарев, Ю.Ф. MatLAB 5.x / Ю.Ф. Лазарев. – К.: Издательская группа ВНУ, 2000. – 384 с.

## **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Личный кабинет обучающегося и электронная информационно-образовательная среда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdo.pgups.ru/> (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/> - свободный. — Загл. с экрана.

3. Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://window.edu.ru>, свободный. — Загл. с экрана.
4. Электронно-библиотечная система [ibooks.ru](http://ibooks.ru) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ibooks.ru/> — Загл. с экрана.

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Порядок изучения дисциплины следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведённом в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины с помощью учебно-методического обеспечения, приведённого в разделах 6, 8 и 9 рабочей программы.

2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненные типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков деятельности, предусмотренные текущим контролем (см. фонд оценочных средств по дисциплине).

3. По итогам текущего контроля по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. фонд оценочных средств по дисциплине).

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- технические средства (компьютерная техника и средства связи (персональные компьютеры, проектор, акустическая система и т.д.);
- методы обучения с использованием информационных технологий (компьютерное тестирование, демонстрация мультимедийных материалов, компьютерный лабораторный практикум и т.д.);
- перечень Интернет-сервисов и электронных ресурсов (поисковые системы, электронная почта, профессиональные, тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн-энциклопедии и справочники, электронные учебные и учебно-методические материалы).

## **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом по магистерской программе «Современные технологии, менеджмент, аудит и аналитика в

промышленной энергетике» и соответствует действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Она содержит специальные помещения: учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (в соответствии с утвержденными расписаниями учебных занятий, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы).

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа используется демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочей учебной программе дисциплины, рассмотренное на заседании кафедры и утвержденное заведующим кафедрой.

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

Разработчик программы,  
доцент  
« 24 » 04 2018 г.

— 

М.Ю. Кудрин