

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.11.2024 16:57:35  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
«21» мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА**

Направление подготовки

**18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

Направленность программы бакалавриата

**Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Заочная**

Факультет **химической и биотехнологии**

Кафедра **ресурсосберегающих технологий**

Санкт-Петербург

2021

**Б1.В.05**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		С. П. Федоров

Рабочая программа дисциплины «Явления переноса» обсуждена на заседании кафедры ресурсосберегающих технологий  
протокол от «14» мая 2021 № 5  
Заведующий кафедрой

Н. В. Кузичкин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химической и биотехнологии  
протокол от «18» мая 2021 № 10

Председатель

М. В. Рутто

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки		Д.А.Смирнова
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н.Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Объем дисциплины	5
4. Содержание дисциплины	6
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий	6
4.2. Занятия лекционного типа	6
4.3. Занятия семинарского типа	7
4.3.1. Семинары, практические занятия	7
4.4. Самостоятельная работа обучающихся	8
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	9
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	9
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	9
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины	10
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	10
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	10
10.1. Информационные технологии	10
10.2. Программное обеспечение	11
10.3. Базы данных и информационно-справочные системы	11
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	11
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.	11

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-6</b> Способен применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать информационные технологии, компьютерные средства в научно-исследовательской работе</p>	<p><b>ПК-6.5</b> Формализация описания химико-технологических процессов с применением основных законов переноса вещества и энергии</p>	<p><b>Знать:</b> основные понятия и представления механики сплошной среды (ЗН-1); <b>Уметь:</b> анализировать особенности протекания тепло- и массообменных процессов в различных физико-химических системах (У-1); <b>Владеть:</b> знаниями об основных закономерностях процессов переноса (Н-1).</p>
<p><b>ПК-7</b> Способен осуществлять научное руководство проведением исследований по отдельным задачам, планировать экспериментальные исследования, обрабатывать и анализировать полученные результаты</p>	<p><b>ПК-7.3</b> Определение термодинамических показателей системы на основании экспериментальных данных</p>	<p><b>Знать:</b> фундаментальные законы переноса вещества, импульса и энергии (ЗН-2); <b>Уметь:</b> правильно оценивать возможности интенсификации процессов тепло-массообмена в исследуемых системах (У-2). <b>Владеть</b> методами решения прикладных задач тепломассопереноса (Н-2).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к дисциплинам части дисциплин, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.05) и изучается на 4 курсе.

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами в процессе освоения дисциплин «Физическая химия», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты химической технологии» «Химические реакторы».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Явления переноса» знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе и при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Заочная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>4 / 144</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>12</b>
занятия лекционного типа	<b>4</b>
занятия семинарского типа, в т.ч. на практ.подготовку	8 (8)
семинары, практические занятия	8 (8)
лабораторные работы	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	-
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>123</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	Контр.работы (2)
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП , зачет, экзамен)	<b>Экзамен (9)</b>

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Теплопроводность	1	2	-	30	ПК-6	ПК-6.5
2.	Диффузия	1	2	-	30	ПК-6	ПК-6.5
3.	Законы гидродинамики	1	2	-	30	ПК-6	ПК-6.5
4.	Тепломассоперенос в движущихся средах	1	2	-	33	ПК-7	ПК-7.3

##### 4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академ. часы	Инновационная форма
1.	<p><i>Теплопроводность</i></p> <p>Кондуктивный перенос тепла. Характер потоков переноса. Закон Фурье для изотропных сред. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Точное решение задачи о промерзании полупространства. Аналитическое решение задач методом разделения переменных. Устойчивость стационарного состояния, анализ скорости затухания возмущений. Численное решение нестационарных задач методом сеток. Выбор шага по времени, физический смысл критерия устойчивости разностной схемы.</p>	1	ЛВ
2.	<p><i>Диффузия</i></p> <p>Диффузионный перенос массы. Закон Фика для изотропных сред. Вывод уравнения диффузии, начальные и граничные условия, условия сшивки на границе сред. Связь уравнения диффузии с моделью случайного блуждания. Связь коэффициента диффузии с микроструктурными параметрами. Решение задачи о внутри- диффузионном торможении</p>	1	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3.	<i>Законы гидродинамики</i> Координатные представления Эйлера и Лагранжа. Скорость изменения объема подвижного элемента сплошной среды. Уравнение неразрывности. Уравнение движения в напряжениях. Вязкие напряжения. Закон парности касательных напряжений. Закон вязких напряжений Ньютона для изотропных сред. Уравнение движения в компонентах скорости. Граничные условия на твердых и свободных поверхностях. Ламинарное течение в плоской щели, профиль Пуазеля. Критерий Рейнольдса, понятие о турбулентном режиме.	1	ЛВ
4.	<i>Тепломассоперенос в движущихся средах</i> Конвективные потоки вещества и энергии. Уравнения теплопроводности и диффузии для движущихся сред. Постановка граничных условий. Простейшие модели пограничных слоев, внешнее диффузионное торможение химических превращений. Макроскопические уравнения балансов для плоских турбулентных течений, анализ смешения потоков, оценка потери давления при смешении потоков.	1	ЛВ

### 4.3. Занятия семинарского типа

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	В т.ч. на пр.подготовку	Инновационная форма
1	Численное решение уравнения теплопроводности методом сеток для одномерных и двухмерных нестационарных задач теплопереноса	1	1	МГ
1	Численное решение уравнения теплопроводности методом сеток для одномерных и двухмерных нестационарных задач теплопереноса	1	1	МГ
2	Численное решение задачи о внутридиффузионном торможении химической реакции	1	1	МГ
2	Численное решение задачи о внутридиффузионном торможении химической реакции	1	1	МГ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	В т.ч. на пр.подготовку	Инновационная форма
3	Ламинарное стекание пленки жидкости по вертикальной поверхности.	1	1	МГ
3	Анализ смешения двух турбулентных потоков жидкости.	1	1	МГ
4	Теплоотдача при пленочной конденсации пара (формула Нуссельта).	1	1	МГ
4	Анализ работы двухходового кожухотрубчатого теплообменника.	1	1	МГ

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<i>Теплопроводность</i> Закон Фурье, уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия. Дисперсионный анализ скорости затухания возмущений. Устойчивость разностной схемы, физический смысл критерия устойчивости.	30	Контр. раб. №1
2	<i>Диффузия</i> Закон Фика. Уравнение диффузии, условия сшивки на границе сред. Зависимость коэффициента диффузии от микроструктурных параметров процесса. Внутридиффузионное торможение химической реакции	30	Контр. раб. №1
3	<i>Законы гидродинамики</i> Вязкие напряжения Ньютона. Уравнение движения в компонентах скорости. Граничные условия на свободных поверхностях. Критерий Рейнольдса. Ламинарные и турбулентные течения	30	Контр. раб. №1
4	<i>Тепломассоперенос в движущихся средах</i> Уравнения теплопроводности и диффузии с конвективным членом. Простейшие модели пограничных слоев. Внешнее диффузионное торможение реакций. Макроскопические балансы массы, импульса, энергии для плоских турбулентных течений.	33	Контр. раб. №2



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

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде экзамена на 4 курсе.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется теоретическими вопросами (для проверки знаний).

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин, на решение задачи отводится до 20 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

### Вариант № 1

1. Вывод уравнения диффузии в модели случайных перескоков.
2. Устойчивость стационарного состояния, дисперсионный анализ скорости затухания возмущений.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Контрольные работы представляют собой практические задания (для проверки умений и навыков). Пример задания на контрольную работу:

### Задача:

Выполнить анализ смещения двух турбулентных потоков жидкости заданного состава и параметров

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка за экзамен «удовлетворительно».

## 7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1. Валишев, М. Г. Курс общей физики : Учебное пособие для вузов по техническим направлениям подготовки и специальностям / М. Г. Валишев, А. А. Повзнер. - 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. - 573 с. - ISBN 978-5-8114-0820-7
2. Демидович, Б. П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения : Учебное пособие / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова; под ред. Б. П. Демидовича. - 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2008. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0799-6
3. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : Учебное пособие для вузов / Г. И. Марчук. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009. - 608 с. - ISBN 978-5-8114-0892-4
4. Компьютерное моделирование химико-технологических систем в среде Aspen Hysys 8.6 : учебное пособие / В. И. Федоров и др. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. - 77 с.

5. Охорзин, В. А. Прикладная математика в системе Mathcad / В. А. Охорзин. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009. - 348 с. - ISBN 978-5-8114-0814-6.
6. Савельев, И. В. Курс общей физики : в 4-х кн. : учебное пособие / И. В. Савельев. - 5-е изд., испр. . – Санкт-петербург. ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011. - (Учебники для вузов. Специальная литература) (Классическая учебная литература по физике). - ISBN 978-5-8114-1206-8. - Т. 3 : Молекулярная физика и термодинамика. - 2011. - 208 с. - ISBN 978-5-8114-1209-9

#### **б) электронные учебные издания:**

1. Компьютерное моделирование химико-технологических систем в среде Aspen Hysys 8.6 : учебное пособие / В. И. Федоров [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. ресурсосберегающих технологий. - Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. - 77 с. : цв. ил. - Библиогр.: с. 76.
2. Бояршинов, М. Г. Методы вычислительной математики : учебное пособие / М. Г. Бояршинов. — Пермь : ПНИПУ, 2008. — 421 с. — ISBN 978-5-398-00056-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160826> (дата обращения: 07.04.2021). — Режим доступа: по подписке

### **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>

электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>;

сайт федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности»: <https://www1.fips.ru>.

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

Все виды занятий по дисциплине «Явления переноса» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

плановость в организации учебной работы;  
серьезное отношение к изучению материала;  
постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

### **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

#### **10.1. Информационные технологии**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;  
взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение**

Программы Microsoft Office (Microsoft Word, Microsoft PowerPoint), операционная система MS Windows. MathCad. Специализированные моделирующие программные пакеты ASPEN®.

### **10.3. Базы данных и информационно-справочные системы**

Научная электронная библиотека e-library.ru –<http://elibrary.ru>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для ведения лекционных занятий используется аудитория на необходимое количество посадочных мест, оснащенная демонстрационным оборудованием; для ведения практических занятий используется компьютерный класс, оснащенный объединенными в сеть персональными компьютерами, оборудованием и техническими средствами обучения на необходимое количество посадочных мест.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации  
по дисциплине «Явления переноса»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-6</b>	Способен применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать информационные технологии, компьютерные средства в научно-исследовательской работе	Промежуточный
<b>ПК-7</b>	Способен осуществлять научное руководство проведением исследований по отдельным задачам, планировать экспериментальные исследования, обрабатывать и анализировать полученные результаты	Промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-6.5</b> Формализация описания химико-технологических процессов с применением основных законов переноса вещества и энергии	<b>Знает</b> основные понятия и представления механики сплошной среды (ЗН-1)	Правильные ответы на вопросы №№1-18 к экзамену	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, может объяснить их смысл	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения, может привести релевантные примеры
	<b>Умеет</b> анализировать особенности протекания тепло- и массообменных процессов в различных физико-химических системах (У-1)	Корректное выполнение и анализ результатов контрольной работы №1	Называет особенности протекания тепло- и массообменных процессов в различных физико-химических системах	Называет и поясняет природу особенностей протекания тепло- и массообменных процессов в различных физико-химических системах	Подробно описывает природу особенностей протекания тепло- и массообменных процессов в различных физико-химических системах, приводит примеры
	<b>Способен пользоваться</b> знаниями об основных закономерностях процессов переноса (Н-1).	Корректное выполнение практических работ	Имеет представление о принципах о решения задач из области массопереноса	Способен осуществлять решение задач из области массопереноса	Способен о формулировать постановку задачи и выполнять решение задач из области массопереноса

Код и наименование	Показатели сформированности	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)		
			Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, может объяснить их смысл	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения, может пояснить основные принципы применяемых методик
<b>ПК-7.3</b> Определение термодинамических показателей системы на основании экспериментальных данных	<b>Знает</b> фундаментальные законы переноса вещества, импульса и энергии (ЗН-2);	Правильные ответы на вопросы №№19-21 к экзамену	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, может объяснить их смысл	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения	Перечисляет основные термины и понятия, используемые в лексике предмета изучения, дает четкие их определения, может пояснить основные принципы применяемых методик
	<b>Способен</b> правильно оценивать возможности интенсификации процессов тепло-массообмена в исследуемых системах (У-2).	Корректные выводы по результатам практических работ	Имеет понятие о путях интенсификации процессов тепло-массообмена	Способен применять методики интенсификации процессов тепло-массообмена	Способен выбирать и применять методики интенсификации процессов тепло-массообмена
	<b>Владеет</b> методами решения прикладных задач теплопереноса (Н-2).	Корректное выполнение и анализ результатов контрольной работы №2	Имеет представление о методах решения прикладных задач теплопереноса, может выполнить типовой расчет с использованием инструментария прикладных компьютерных программ	Способен пользоваться стандартизованным инструментарием прикладных компьютерных программ для решения задач теплопереноса	Способен самостоятельно разрабатывать простые алгоритмы для решения задач теплопереноса

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

- шкала оценивания на экзамене балльная.

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### 3.1 Вопросы к экзамену

##### а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-6:

1. Закон Фурье.
2. Уравнение теплопроводности.
3. Граничные условия.
4. Закон Фика, уравнение диффузии, условия сшивки на границе сред.
5. Внутреннее диффузионное торможение химической реакции.
6. Связь коэффициента диффузии с микроструктурными параметрами.
7. Представления Эйлера и Лагранжа.
8. Уравнение неразрывности.
9. Уравнение движения.
10. Закон парности касательных напряжений.
11. Напряжения Ньютона.
12. Уравнение движения в компонентах скорости.
13. Профиль Пуазеля для ламинарного течения в плоской щели.
14. Критерий Рейнольдса, турбулентность.
15. Простейшие модели пограничных слоев.
16. Уравнения теплопроводности и диффузии для движущихся сред.
17. Уравнения макроскопических балансов для турбулентных течений.
18. Анализ смешения турбулентных потоков, потери давления

##### б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-7:

19. Численное решение нестационарных задач методом сеток.
20. Критерий устойчивости разностной схемы и его физический смысл.
21. Аналитическое решение задач методом разделения переменных.

#### 3.2 Практические задания для решения задач

Задачи для проверки умений и навыков формируются на основании материала, освоенного на практических занятиях. Пример задания:

##### Контрольная работа №1.

Изучить переходной процесс на основании исходных данных.. Для заданного процесса построить стационарный профиль температуры.

Исходные данные:

Вариант 1

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.75 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$
$$T(x,0) = 11.1; \quad T(0,\tau) = 3.1; \quad T(L,\tau) = 3.1; \quad L = 0.07; \quad a = 3.2 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 2

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.42 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$
$$T(x,0) = 2.1; \quad T(0,\tau) = e^{(-\tau)}; \quad T(L,\tau) = 3.9; \quad L = 0.091; \quad a = 1.7 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 3

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.37 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$
$$T(x,0) = 8.1; \quad T(0,\tau) = 6.1; \quad T(L,\tau) = 2.6; \quad L = 0.059; \quad a = 1.5 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 4

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.39 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$
$$T(x,0) = 2.1; \quad T(0,\tau) = 1; \quad T(L,\tau) = 3.1e^{(-\tau)}; \quad L = 0.06; \quad a = 2 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 5

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.24 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$
$$T(x,0) = 10.1; \quad T(0,\tau) = 7.3; \quad T(L,\tau) = 3.1; \quad L = 0.077; \quad a = 1.9 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 6

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.52 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$

$$T(x,0)=2.1; \quad T(0,\tau)=1.3; \quad T(L,\tau)=3/(1+\tau); \quad L=0.087; \quad a=2 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 7

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.47 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$

$$T(x,0)=7.3; \quad T(0,\tau)=8.2; \quad T(L,\tau)=3.6; \quad L=0.068; \quad a=2.5 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 8

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.47 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$

$$T(x,0)=6.6; \quad T(0,\tau)=7.5; \quad T(L,\tau)=\tau/(1+\tau^2); \quad L=0.046; \quad a=1.5 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 9

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.45 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$

$$T(x,0)=12.1; \quad T(0,\tau)=11.1; \quad T(L,\tau)=3.1; \quad L=0.073; \quad a=3 \cdot [10]^{(-6)}$$

Вариант 10

$$T(x,\tau); \quad \partial T/\partial \tau = a \cdot (\partial^2 T)/(\partial x^2) + 0.25 \quad \text{при } 0 < x < L, \quad \tau > 0$$

$$T(x,0)=22.1; \quad T(0,\tau)=e^{(-2\tau)}; \quad T(L,\tau)=13.1; \quad L=0.046; \quad a=2 \cdot [10]^{(-6)}$$

### Контрольная работа №2.

Выполнить расчет теплового баланса теплообменного аппарата. Исходные данные:

№	“холодный”		“горячий”		F <sub>сумм</sub> м <sup>2</sup>	k кДж/ (час*м <sup>2</sup> *°С)	трубн. ходов	перего- родок	подача в межтрубное пространство
	т/час	°С	т/час	°С					
1	25,3	20,2	29,1	280	350	100	4	4	справа сверху
2	27,5	21,2	30,2	278	355	110	4	3	слева внизу
3	29,7	22,2	31,3	276	360	120	2	7	слева внизу
4	31,9	23,2	32,4	274	365	130	4	3	справа сверху
5	34,2	24,2	33,5	272	370	140	3	4	слева сверху
6	36,4	25,2	34,6	270	375	150	3	5	слева внизу
7	38,6	26,2	35,7	268	380	160	3	3	справа внизу
8	40,8	27,2	36,8	266	385	170	3	4	справа сверху
9	43	28,2	37,9	264	390	180	3	4	слева внизу
10	45,2	29,2	39	262	395	190	4	3	справа внизу
11	47,4	30,2	40,1	260	400	200	4	4	слева сверху
12	49,6	31,2	41,2	258	405	210	3	3	слева сверху
13	51,8	32,2	42,3	256	410	220	3	5	слева сверху
14	54	33,2	43,4	254	415	230	2	5	слева сверху
15	56,3	34,2	44,5	252	420	240	2	6	справа внизу
16	58,5	35,2	45,6	250	425	250	3	5	справа сверху



При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

