

Г. Н. ИВАНОВ, С. Р. ИСПИРЯН, И. В. КРИВЕНКО

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОТЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Г. Н. ИВАНОВ, С. Р. ИСПИРЯН, И. В. КРИВЕНКО

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОТЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2024

УДК 536.42
ББК 22.317
И20

Рецензенты:

заместитель генерального директора «НЕФТЕГАЗГЕОФИЗИКА»
главный инженер *Бурдо В. Б.*;

заместитель директора отделения ООО «НИТцентр»
кандидат химических наук *Новиков А. В.*

Иванов, Г. Н.

И20 Процессы переноса теплоты в технологических системах : учебное пособие / Г. Н. Иванов, С. Р. Испирян, И. В. Кривенко. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 156 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1767-9

Изложены основы теории теплопереноса, кратко рассмотрена теория подобия и принципы моделирования процессов переноса теплоты; закономерности, методы расчета и выбора теплообменных процессов и аппаратов. В каждом разделе имеются описания лабораторных работ, вопросы для их защиты и практические задачи.

Для студентов направления подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность», 27.03.04 «Управление в технических системах», 12.03.01 «Приборостроение» дневного и заочного отделения. Может быть полезно студентам других направлений и специалистам в практической работе.

УДК 536.42
ББК 22.317

ISBN 978-5-9729-1767-9

© Иванов Г. Н., Испирян С. Р., Кривенко И. В., 2024
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ РЯДОВ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО И ИНТЕГРАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА	7
1.1. Разложение функции в ряд Тейлора.....	7
1.2. Разложение функции в ряд Фурье	8
1.3. Интегрирование по частям	8
1.4. Скалярное поле. Градиент скалярного поля.....	9
1.5. Векторное поле. Дивергенция векторного поля. Теорема Остроградского – Гаусса.....	14
1.6. Оператор Лапласа.....	16
1.7. Гиперболические функции	16
1.8. Задачи для самостоятельного решения к главе 1	17
2. АНАЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА, ТЕПЛОТЫ, МАССЫ И ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭТИХ ПРОЦЕССОВ	18
2.1. Явления переноса	18
2.2. Физическое и математическое моделирование процессов переноса	22
2.3. Способы измерения температуры	23
2.4. Описание лабораторных работ к главе 2	31
Лабораторная работа Т-1 «Градуировка термомпары»	31
Лабораторная работа Т-2 «Определение энергии активации полупроводника»	35
2.5. Вопросы для защиты лабораторных работ Т-1 и Т-2	37
2.6. Задачи для самостоятельного решения к главе 2.....	38
3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ	40
3.1. Основные понятия теории теплообмена.....	40
3.2. Основные виды переноса теплоты	42
3.3. Определение температурного поля	46
3.4. Условия однозначности	49
3.5. Стационарный режим теплопроводности. Стационарное температурное поле	55
3.6. Внешнее тепловое сопротивление.....	59
3.7. Перенос тепла через многослойные стенки	60
3.8. Нестационарный тепловой режим. Нестационарное температурное поле	62
3.9. Пример применения метода Фурье для решения уравнение теплопроводности.....	64
3.10. Описание лабораторных работ к главе 3	70
Лабораторная работа Т-3 «Определение коэффициента теплопроводности изоляционного материала методом трубы».....	70

Лабораторная работа Т-4 «Изучение стационарного температурного поля стержня без тепловой изоляции»	74
3.11. Вопросы для защиты лабораторных работ	78
Вопросы для защиты лабораторной работы Т-3	78
Вопросы для защиты лабораторной работы Т-4	78
3.12. Задачи для самостоятельного решения к главе 3	81
Теплопередача в установившемся режиме. Внутреннее и внешнее тепловое сопротивление	81
Уравнение теплопроводности для стержня с теплоизоляцией боковой поверхности	84
4. ПРЕДЕЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛООБМЕНА	89
4.1. Внешняя и внутренняя задачи	89
4.2. Внешняя задача теплопереноса. Тепловая инерция	90
4.3. Внутренняя задача теплопереноса. Регулярный тепловой режим	92
4.4. Описание лабораторных работ	93
Лабораторная работа Т-5 «Определение коэффициента теплоотдачи в режиме тепловой инерции»	93
Лабораторная работа Т-6 «Определение удельной теплоемкости металла сравнительным методом»	96
4.5. Вопросы для защиты лабораторных работ	100
Вопросы для защиты лабораторной работы Т-5	100
Вопросы для защиты лабораторной работы Т-6	103
4.6. Задачи для самостоятельного решения к главе 4	107
Теплоотдача в режиме тепловой инерции (к лабораторной работе Т-5)	107
Теплоотдача в режиме тепловой инерции (к лабораторной работе Т-6)	110
Задачи	111
5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОДВОДА И ОТВОДА ТЕПЛОТЫ (ТЕПЛООБМЕН В ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТАХ)	117
5.1. Теплообмен в текучих средах	117
5.2. Теплообмен в системах с дисперсной твердой фазой	122
5.3. Теплообмен в рекуперативных теплообменных аппаратах	128
5.4. Теплообмен при выпаривании растворов	130
5.5. Задачи к главе 5	133
Пример решения задачи по теме «Теплопередача в установившемся режиме»	133
Задачи по теме «Теплопередача в установившемся режиме» для самостоятельного решения	135
Пример решения задачи по теме «Стационарное температурное поле»	137
Задачи по теме «Стационарное температурное поле» для самостоятельного решения	138

Пример решения задачи по теме «Нестационарное температурное поле»	141
Задачи по теме «Нестационарное температурное поле» для самостоятельного решения.....	142
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	146
ПРИЛОЖЕНИЕ	147