

УДК 66.011  
ББК 35  
Л24

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:  
д-р техн. наук, проф. Р. И. Ибятков  
д-р техн. наук, проф. Ф. Г. Ахмадиев*

*Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования РФ «Энергоресурсосберегающие процессы разделения жидких смесей для выделения промышленных растворителей»*

**Лаптева Т. В.**

**Л24** Оценка работоспособности действующих химико-технологических систем : монография / Т. В. Лаптева, Н. Н. Зиятдинов; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. – 156 с.

ISBN 978-5-7882-2863-1

Рассмотрены вопросы исследования работоспособности действующих химико-технологических систем в изменяющихся условиях функционирования. Приведены известные и предложены новые постановки задач исследования работоспособности систем, показаны сложности их решения. Предложены методы и алгоритмы решения поставленных задач. Эффективность методов иллюстрируется результатами вычислительных экспериментов.

Предназначена для научных работников, аспирантов, магистрантов, чьи исследования связаны с проектированием сложных технических и технологических систем в разных отраслях промышленности.

Подготовлена на кафедре системотехники.

**УДК 66.011  
ББК 35**

ISBN 978-5-7882-2863-1 © Лаптева Т. В., Зиятдинов Н. Н., 2020  
© Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2020

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ФОРМУЛИРОВКУ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	9
1.1. Характеристика параметров ХТС, используемых при ее моделировании.....	10
1.2. Постановка задачи проектирования оптимальной химико- технологической системы .....	13
1.3. Классификация неопределенных параметров.....	15
1.4. Уровень неопределенности на этапе функционирования жизненного цикла ХТС.....	18
1.5. Характеристика ограничений в задачах оптимизации ХТС при учете неопределенности в исходной информации.....	24
1.6. Жесткие ограничения.....	25
1.7. Вероятностные ограничения .....	25
Глава 2. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ.....	27
2.1. Методы выпуклого нелинейного программирования.....	27
2.2. Методы глобальной оптимизации .....	32
2.3. Методы полубесконечного программирования.....	37
Глава 3. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОБЛАСТИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЗАДАННОГО РАЗМЕРА.....	51
3.1. Оценка работоспособности ХТС в условиях неопределенности в исходной информации .....	51
3.2. Требование на гибкость ХТС на основе жестких ограничений при возможности получения точных значений всех неопределенных параметров.....	52
3.3. Исследование свойств функции $h_1(d, \theta)$ и функции гибкости $\chi_1(d)$ .....	54
3.4. Формализация задач вычисления оценок функции гибкости .....	62
3.5. Способ уточнения оценок функции гибкости .....	63
3.6. Итерационная процедура вычисления верхней оценки функции гибкости.....	68
3.7. Итерационная процедура вычисления функции гибкости .....	71
3.8. Учет переменных состояния при вычислении значения функции гибкости ХТС .....	74
3.9. Требование стохастической гибкости .....	75
3.10. Учет требований работоспособности в постановках задач проектирования оптимальных ХТС.....	76

Глава 4. АПРОБАЦИЯ ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОБЛАСТИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЗАДАННОГО РАЗМЕРА .....	78
4.1. Вычисление значения функции гибкости для замкнутой системы «реактор – теплообменник» .....	78
4.2. Вычисление значения функции гибкости для системы теплообменников .....	90
4.3. Анализ работоспособности подсистемы узла захлаживания пирогаза на заданной области неопределенности .....	97
Глава 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....	106
5.1. Формализация задачи вычисления индекса гибкости химико-технологической системы .....	106
5.2. Вычисление максимального размера области гибкости для ректификационной колонны выделения бутановой фракции .....	108
Глава 6. ЗАДАЧА ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ ГИБКОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ .....	114
6.1. Формализация задачи оценки возможности создания гибкой ХТС .....	114
6.2. Описание подхода для решения задачи оценки возможности создания гибкой ХТС на заданной области неопределенности .....	115
6.3. Формализация задачи вычисления верхней оценки теста структурной гибкости ХТС .....	115
6.4. Алгоритм вычисления верхней оценки для задачи теста структурной гибкости ХТС .....	117
6.5. Формализация задачи вычисления нижней оценки задачи теста структурной гибкости ХТС .....	119
6.6. Способ уточнения оценок решения задачи теста структурной гибкости ХТС .....	120
6.7. Алгоритм решения задачи оценки возможности создания гибкой ХТС .....	121
6.8. Учет переменных состояния при решении задачи оценки возможности создания гибкой ХТС на заданной области неопределенности .....	123
6.9. Решение задачи оценки возможности создания гибкой ХТС для системы «реактор – теплообменник» .....	123
6.10. Решение задачи оценки возможности создания гибкой ХТС для системы теплообменников .....	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	151