

УДК 665.6:51.001.57

ББК 35.514:22.1

ПЗ4

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

*Рецензенты:*

*д-р техн. наук, проф. А. Ф. Кемалов*

*канд. техн. наук М. Р. Идрисов*

**ПЗ4 Авторы: И. В. Пискунов, В. М. Капустин, Е. А. Чернышева,  
Н. Ю. Башкирцева**

Повышение эффективности процессов переработки нефти с использованием методов математического моделирования : монография / И. В. Пискунов, В. М. Капустин, Е. А. Чернышева, Н. Ю. Башкирцева; под ред. О. Ф. Глаголевой; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – 2-е изд. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. – 384 с.

ISBN 978-5-7882-3275-1

Представлены данные о свойствах, особенностях и превращениях нефтяных дисперсных систем различного типа: от малоструктурированных (нефти) до связнодисперсных, таких как тяжелые нефтяные остатки и битумы. Показаны примеры регулирования технологических процессов с целью повышения их эффективности за счет лучшей управляемости, которая достигается использованием математических моделей, учитывающих неаддитивные явления в нефтяных дисперсных системах.

Предназначена для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению 18.03.01 (18.04.01) «Химическая технология».

Подготовлена на кафедре химической технологии переработки нефти и газа.

**УДК 665.6:51.001.57**

**ББК 35.514:22.1**

ISBN 978-5-7882-3275-1

© Пискунов И. В., Капустин В. М., Чернышева Е. А.,  
Башкирцева Н. Ю., 2023

© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2023

# С О Д Е Р Ж А Н И Е

<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>	<b>6</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>7</b>
<b>1. ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ .....</b>	<b>11</b>
1.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ В МИРЕ .....	11
1.2. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	14
1.3. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	19
1.3.1. Традиционные нефтяные топлива.....	19
1.3.2. Альтернативные низкоуглеродные виды топлива.....	23
1.3.3. Нефтепродукты нетопливного назначения .....	25
Выводы по главе 1 .....	36
<b>2. ПРИМЕНЕНИЕ НА НПЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ .....</b>	<b>38</b>
2.1. ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ .....	38
2.2. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ .....	40
2.2.1. Системы производственного и календарного планирования.....	46
2.2.2. Моделирующие программы, системы сведения баланса и другое ПО .....	48
2.2.3. Системы управления технологическими процессами (СУУТП) .....	50
2.3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	54
2.4. ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ.....	57
Выводы по главе 2 .....	59
<b>3. НЕФТЬ И ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ КАК НЕФТЯНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ (НДС).....</b>	<b>61</b>
3.1. ДИСПЕРСНАЯ ПРИРОДА НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ.....	61
3.2. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ.....	73
3.3. НЕАДДИТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПРИ СМЕШЕНИИ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ.....	80
3.3.1. Сырьевые компаунды.....	85
3.3.2. Компаундирование нефтепродуктов и полуфабрикатов.....	87
3.4. ВОПРОСЫ АГРЕГАТИВНОЙ И КИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ .....	90
Выводы по главе 3 .....	100
<b>4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>102</b>
4.1. ПРИМЕНЕНИЕ ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ.....	102
4.2. ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ БИК-СПЕКТРОМЕТРИИ.....	110
4.3. ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ.....	119
Выводы по главе 4 .....	125

<b>5. ОПТИМИЗАЦИЯ СМЕШЕНИЯ НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НЕСОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ .....</b>	<b>127</b>
5.1. Роль смешения нефтяного сырья в современных условиях .....	127
5.2. Использование ЛП-моделей при выборе нефтей для переработки .....	132
5.3. Методы оценки устойчивости и несовместимости нефтей в смесях .....	136
5.3.1. Методы, основанные на титровании образцов.....	137
5.3.2. Методы на основе данных по химическому составу нефтей .....	139
5.3.3. Методы на основе физико-химических свойств нефтей.....	140
5.4. Примеры использования методик оценки несовместимости .....	141
Выводы по главе 5 .....	148
<b>6. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕГОНКИ НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ .....</b>	<b>150</b>
6.1. Оптимизация процесса перегонки нефти через подбор и оптимальное смешение сырья .....	150
6.2. Применение принципов физико-химической механики для оптимизации перегонки нефтяного сырья на НПЗ .....	154
6.3. Перегонка нефти в смеси с газоконденсатом .....	156
6.3.1. Лабораторные исследования перегонки нефтегазоконденсатных смесей.....	162
6.3.2. Опытнo-промышленные исследования перегонки нефтегазоконденсатных смесей.....	167
6.4. Перегонка смесей нефти с ароматической добавкой .....	174
Выводы по главе 6 .....	177
<b>7. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>179</b>
7.1. Основные тенденции в производстве и применении битумов .....	179
7.2. Изменение сырьевой базы и переход на смесевое сырье .....	183
7.3. Использование модифицирующих добавок.....	200
7.3.1. Полимерные добавки .....	200
7.3.2. Добавки и присадки других типов .....	206
7.3.3. Вторичные ресурсы и отходы производства .....	208
7.3.4. Добавки и технологии для энергосбережения и защиты экологии.....	212
7.4. Внедрение новых методов испытания и стандартов .....	215
7.4.1. Развитие методологии Supergrape .....	215
7.4.2. Анализ и моделирование климатических условий .....	218
7.4.3. Методики расчетов температурных параметров в РФ.....	221
7.5. Совершенствование аппаратного оформления битумных производств и терминалов.....	230
Выводы по главе 7 .....	232
<b>8. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>235</b>
8.1. Актуальность применения цифровых систем.....	235

8.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИТУМОВ.....	236
8.2.1. Взаимосвязь стандартных показателей качества битумов.....	239
8.2.2. Вязкостные показатели битумов.....	245
8.2.3. Структурные характеристики битума.....	252
8.2.4. Реологические модели битума.....	253
8.2.5. Связь реологических и стандартных показателей битума.....	256
8.2.6. Моделирование параметров битумов на основе молекулярной структуры.....	258
8.2.7. Термоокислительное старение и поведение битума при эксплуатации.....	260
8.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	261
8.3.1. Основные факторы, оказывающие влияние на качество битума.....	262
8.3.2. Математическое описание процесса окисления.....	271
8.3.3. Автоматизация процесса производства битумов.....	280
Выводы по главе 8.....	282
<b>9. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОСТАТОЧНЫХ ТОПЛИВ .....</b>	<b>284</b>
9.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СИСТЕМАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НПЗ.....	284
9.1.1. Неаддитивность свойств нефтей и остаточных топлив .....	286
9.1.2. Примеры моделей для расчета вязкости нефтяных систем.....	289
9.1.3. Практические примеры расчета неаддитивных свойств при смешении.....	297
9.1.4. Применение математических моделей смешения в планировании НПЗ.....	304
9.2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОСТАТКА ГИДРОКРЕКИНГА ГУДРОНА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	307
9.2.1. Описание процесса гидрокрекинга гудрона H-oil .....	309
9.2.2. Построение виртуального анализатора показателей качества продукта.....	311
Выводы по главе 9.....	314
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>316</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>332</b>