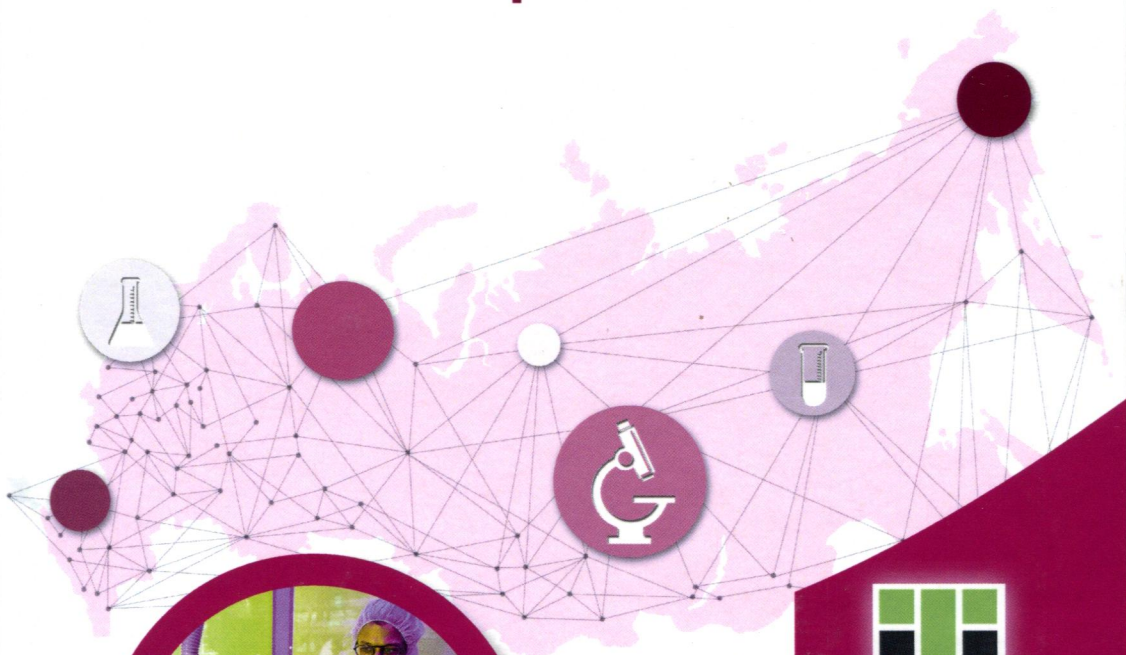


УНИВЕРСИТЕТЫ РОССИИ

В. В. Бочкарев

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Юрайт
ИЗДАТЕЛЬСТВО

УМО рекомендует

biblio-online.ru



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. В. Бочкарев

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ БАКАЛАВРИАТА И МАГИСТРАТУРЫ

Рекомендовано Учебно-методическим отделом Российской академии естествознания по классическому университетскому и техническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 240100 «Химическая технология»

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 66.011(075.8)

ББК 35.10я73

Б86

Автор:

Бочкарев Валерий Владимирович — кандидат химических наук, доцент кафедры технологии органических веществ и полимерных материалов Института природных ресурсов Томского политехнического университета.

Рецензенты:

Раши С. М. — доктор химических наук, заведующий кафедрой химической технологии органических красителей и фототропных соединений Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета);

Филлимошкин А. Г. — доктор химических наук, профессор Томского государственного университета.

Бочкарев, В. В.

Б86 Оптимизация химико-технологических процессов : учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / В. В. Бочкарев. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 263 с. — Серия : Университеты России.

ISBN 978-5-9916-6546-9

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам, подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии учебники прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

Учебное пособие предназначено для углубленного изучения вопросов управления химико-технологическими процессами синтеза веществ. В нем приведены примеры решения типовых задач по математическому моделированию и оптимизации объектов химической технологии, изложены основные подходы к построению математических моделей и этапы математического моделирования и оптимизации химико-технологических процессов, рассмотрено большое количество примеров, раскрывающих представление о критериях оптимизации, эффективности химико-технологических процессов. Каждая глава, кроме теоретической части и разобранных примеров решения различных задач оптимизации, содержит большое количество контрольных заданий, помогающих усвоению материала.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

УДК 66.011(075.8)

ББК 35.10я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-9916-6546-9

© Бочкарев В. В., 2014

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ | 8 |
| 1.1. Основные понятия | 8 |
| 1.2. Показатели эффективности химико-технологических процессов | 9 |
| 1.2.1. Технологические критерии эффективности | 11 |
| 1.2.2. Экономические критерии эффективности | 14 |
| 1.3. Характеристика методов оптимизации химико-технологических процессов | 16 |
| 2. СТЕПЕНЬ КОНВЕРСИИ – ПАРАМЕТР ОПТИМИЗАЦИИ | 18 |
| 3. УДЕЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РЕАКТОРОВ | 21 |
| 3.1. Математические модели химических реакторов | 21 |
| 3.1.1. Идеальный периодический реактор полного смешения (ПР) | 21 |
| 3.1.2. Непрерывный реактор идеального вытеснения (РИВ) | 22 |
| 3.1.3. Непрерывный реактор идеального смешения (РИС) | 24 |
| 3.1.4. Каскад реакторов идеального смешения (КРИС) | 28 |
| 3.2. Удельная производительность идеальных реакторов | 31 |
| 3.3. Удельная производительность каскада реакторов идеального смешения | 35 |
| 3.4. Удельная производительность различных сочетаний идеальных реакторов | 37 |
| 3.5. Влияние параметров процесса на удельную производительность реакторов | 39 |
| 4. СЕЛЕКТИВНОСТЬ И ВЫХОД В СЛОЖНЫХ РЕАКЦИЯХ | 48 |
| 4.1. Влияние концентраций исходных реагентов и степени их конверсии на селективность и выход в сложных реакциях | 48 |
| 4.1.1. Необратимые параллельные реакции | 48 |
| 4.1.2. Последовательные необратимые реакции | 59 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.3. Системы необратимых параллельных и последовательных реакций | 68 |
| 4.1.4. Сложные реакции с обратимыми стадиями | 73 |
| 4.2. Влияние температуры на селективность и выход в сложных реакциях | 90 |
| 4.3. Влияние типа реакторов и способа введения реагентов на селективность и выход в сложных реакциях | 99 |
| Задания к самостоятельной работе | 116 |
| 5. ОПТИМИЗАЦИЯ РАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ | 126 |
| 5.1. Химическое равновесие. Основные понятия, определения, расчетные формулы | 126 |
| 5.2. Расчет равновесного состава сложных реакций | 134 |
| 5.3. Управление и оптимизация равновесных процессов | 138 |
| 5.3.1. Управление равновесными процессами при помощи технологических приемов и операций | 139 |
| 5.3.2. Управление равновесными процессами при помощи управляющих параметров | 141 |
| 5.3.2. Выбор способа производства | 161 |
| Задания к самостоятельной работе | 169 |
| 6. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ | 174 |
| Задания к самостоятельной работе | 189 |
| 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ASPEN HYSYS | 198 |
| 7.1. Общие принципы работы с программой | 199 |
| 7.1.1. Средства представления и анализа свойств нефтей и газовых конденсатов | 200 |
| 7.1.2. Методы расчета термодинамических свойств | 200 |
| 7.1.3. Средства моделирования отдельных процессов и аппаратов | 201 |
| 7.1.4. Построение технологических схем из отдельных элементов | 201 |
| 7.1.5. Расчет технологических схем | 202 |
| 7.2. Моделирование и оптимизация процесса каталитической паровой конверсии метана | 202 |

| | |
|---|------------|
| 7.2.1. Создание набора единиц измерения | 204 |
| 7.2.2. Выбор компонентов | 205 |
| 7.2.3. Выбор термодинамического пакета свойств | 206 |
| 7.2.4. Создание набора реакций | 206 |
| 7.2.5. Задание сырьевых потоков | 212 |
| 7.2.6. Задание и расчет смесителя и перегревателя | 215 |
| 7.2.7. Задание и расчет равновесного реактора при фиксированном мольном соотношении водяного пара к метану | 218 |
| 7.2.8. Оптимизация процесса. Нахождение мольного соотношения водяного пара к метану в исходной смеси, при котором отношение $H_2:CO$ в конвертированном газе равно 3,5:1 | 221 |
| Рекомендуемая литература к главе 7 | 229 |
| 8. ОПТИМИЗАЦИЯ | |
| С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМПЛЕКСНОГО МЕТОДА | |
| И МЕТОДА КРУТОГО ВОСХОЖДЕНИЯ | |
| 8.1. Симплексный метод планирования экспериментов (оптимизации) | 230 |
| 8.1.1. Общие сведения | 230 |
| 8.1.2. Алгоритм реализации симплексного метода | 233 |
| 8.2. Организация эксперимента для поиска оптимальных условий | 236 |
| 8.2.1. Полный факторный эксперимент | 237 |
| 8.2.2. Метод крутого восхождения | 243 |
| 8.3. Описание почти стационарной области | 248 |
| 8.3.1. Математическое описание почти стационарной области по результатам реализации центральных композиционных ортогональных планов второго порядка | 248 |
| 8.3.2. Математическое описание почти стационарной области по результатам набора экспериментальных данных | 256 |
| Рекомендуемая литература к главе 8 | 261 |
| ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 263 |