

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Казанский государственный технологический
университет»**

С.И. Дуев, А.И.Бояринов

**Теория стационарных континуумов в
рециркуляционной системе реактор –
блок разделения**

**Казань
КГТУ
2010**

УДК 66.01-503.4.001.57

ББК 35.115:22.1

Дуев, С.И.,

Теория стационарных континуумов в рециркуляционной системе реактор – блок разделения – Казань: КГТУ, 2010 - 201 с.

ISBN 978-5-7882-0972-2

Книга посвящена разработке теории рециркуляционной системы реактор–блок разделения. Основное внимание уделяется качественному исследованию нового явления в химико-технологических системах – возможности существования континуума стационарных состояний на режимах с полным использованием исходных и промежуточных реагентов.

Предназначена для научных работников и инженеров, занимающихся разработкой и проектированием рециркуляционной системы реактор – блок разделения.

Печатается по решению ред. – изд. совета Казанского государственного технологического университета

Рецензенты: д-р. техн. наук Р.И.Ибатов

канд. физ. - мат. наук. Р.М.Рахматуллин

ISBN 978-5-7882-0972-2

© С.И. Дуев, А.И.Бояринов, 2010

©Казанский государственный
технологический университет

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Анализ рециркуляционных систем	7
1.1. Системный анализ – основа стратегии исследования рециркуляционных систем	7
1.2. Эффективность рециркуляционных систем	9
1.3. Развитие теории рециркуляции	12
1.4. Анализ химических процессов с рециркуляцией	15
1.5. Методы расчёта и оптимизации рециркуляционных систем	18
1.6. Стационарные состояния и устойчивость химических реакторов с рециркуляцией	22
Глава 2. Математическое моделирование рециркуляционной системы «реактор – блок разделения»	31
2.1. Общая стратегия построения математических моделей химико–технологических процессов	31
2.2. Математические модели реакторных процессов	33
2.3. Математическое моделирование блока разделения	36
2.4. Математическое моделирование рециркуляционной системы «реактор – блок разделения»	40
2.4.1. Математическая модель системы	40
2.4.2. Стационарные состояния и устойчивость	43
2.4.3. Стохастическая модель системы	48
Глава 3. Режим с полным использованием исходных и промежуточных реагентов	50
3.1. Условия существования режима	
3.2. Критерий существования семейства (континуума) стационарных состояний	50
3.2.1. Реактор произвольного типа	53
3.2.2. Реактор идеального смешения	60
3.2.3. Реакторы с распределёнными параметрами	62
3.3. Критерий единственности стационарного состояния в реакторе идеального смешения	64
3.4. Условия существования различных типов семейств стационарных состояний в реакторе идеального	67

смешения	
3.5. Исследование устойчивости режима	73
3.6. Определение минимальной величины рецикла	75
Глава 4. Анализ числа и типа	78
множественности стационарных состояний на режиме с полным использованием исходных и промежуточных реагентов для различных кинетических схем реакций	
4.1. Реакции первого порядка типа: $A \rightarrow B$, $A \rightarrow B \rightarrow C$, $A \leftrightarrow B$	78
4.2. Реакции второго порядка типа: $A + B \rightarrow C + D$, $A + B \rightarrow C + D \rightarrow 2P$	82
4.3. Последовательно–параллельная реакция $A + B \rightarrow C + D$, $B + C \rightarrow 2P$	90
4.4. Реакции типа: $A + B + C \rightarrow 3P$	97
4.5. Параллельная реакция $A + B \rightarrow C$, $A + B \rightarrow P$	99
4.6. Реакция полимеризации	102
Глава 5. Исследование числа и устойчивости семейств стационарных состояний в различных типах реакторов	106
5.1. Реакция $A + B \rightarrow C \rightarrow P$ в изотермическом реакторе идеального смешения. Учёт запаздывания рециркулята. Исследование влияния случайных возмущений	106
5.2. Реакция $A + B \rightarrow 2C$ в изотермическом реакторе идеального вытеснения	111
5.3. Реакция $A + B \leftrightarrow 2C$ в политропическом реакторе идеального смешения	117
5.4. Реакция $A + B \rightarrow 2C$ в адиабатическом реакторе идеального вытеснения	122
Глава 6. Исследование явления существования континуума (бесконечного множества) стационарных значений температуры на режиме с полным использованием исходных и промежуточных реагентов	127
6.1. Реакция $A + B \rightarrow C$ в политропическом реакторе идеального вытеснения	127
6.2. Реакция $A + B \rightarrow P$, $A + B \leftrightarrow C$ в	133

политропическом реакторе идеального смешения	
Глава 7. Анализ динамического поведения	138
рециркуляционной системы «реактор –	
ректификационная колонна»	
7.1. Реакция $A + B \rightarrow 2C$, $C \rightarrow P$ в	138
изотермическом реакторе идеального смешения	
7.1.1. Математическая модель рециркуляционной	138
системы «реактор – ректификационная колонна»	
7.1.2. Исследование режимов функционирования	141
рециркуляционной системы	
7.1.3. Численный расчёт системы и анализ	146
результатов	
7.2. Реакция $A + B \rightarrow 2C$ в политропическом	152
реакторе идеального смешения	
7.3. Реакция $A \rightarrow B \rightarrow C$ в реакторе идеального	161
смешения	
7.4. Расчёт рециркуляционной системы реактор –	170
колонна ректификации	
Глава 8. Существование оптимальной	178
величины рецикла на режиме с частичной	
рециркуляцией	
8.1. Реакции $A + B \rightarrow 2C$	178
8.2. Реакция $A + B \rightarrow 2C$, $C \rightarrow P$	182
Литература	187
Обозначения	197