

## ОТЗЫВ

официального оппонента Перерва Олега Валентиновича  
на диссертационную работу Кошкина Станислава Александровича  
«Анализ и оптимизация промышленной технологии получения этилбензола на  
цеолитсодержащих катализаторах»  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.17.04. -Технология органических веществ

Современным технологиям крупнотоннажного производства органических соединений свойственна глубокая взаимная интеграция разнородных процессов и аппаратов для их осуществления. Повышение эффективности крупнотоннажного производства, в частности, снижение расходных норм по сырью, снижение энергозатрат повышение селективности по основным товарным продуктам возможно почти исключительно при условии комплексного моделирования производственного процесса.

Получение этилбензола, одного из базовых продуктов основного органического синтеза, является одним из примеров таких технологий. Алкилирование бензола этиленом на гетерогенном цеолитсодержащем катализаторе и трансалкилирование побочных продуктов полиэтилбензолов являются достаточно известными процессами. Основные закономерности протекания этих процессов хорошо изучены в лабораторных условиях. Для промышленных же условий пока нет достаточного количества примеров успешного комплексного моделирования, учитывающего весь спектр образующихся побочных продуктов на технологических стадиях алкилирования и трансалкилирования и обеспечивающего возможность прогнозирования работы системы при изменении технологических параметров (в том числе с учётом рецикловых потоков). Таким образом, диссертационная работа Кошкина С.А. является актуальной уже по факту решаемой задачи.

Научная новизна представленной диссертационной работы обеспечивается комплексным подходом к созданию схемы превращений всех

основных и большинства побочных продуктов реакции. Двадцать одна реакция, включённая в кинетическую модель процессов алкилирования и трансалкилирования, позволяют учесть при моделировании промышленного процесса образование алканов, циклоалканов, основных и побочных алкилароматических соединений.

**Практическая значимость** диссертации заключается в создании математических моделей процессов алкилирования и трансалкилирования на гетерогенных цеолитсодержащих катализаторах, позволяющие адекватно прогнозировать показатели работы системы реакторов промышленной установки действующего производства этилбензола.

Разработанные в ходе выполнения диссертационной работы модели процессов алкилирования и трансалкилирования используются в образовательном процессе при проведении лабораторных работ и практических занятий на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета для студентов, обучающихся по направлениям 18.03.01, 18.04.01 Химическая технология, 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

По результатам работы получены два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Также прикладное значение имеет не отмеченная автором в тексте диссертации возможность использования созданных им математических моделей для измерения качественных показателей работы и оценки потери активности катализатора непосредственно в ходе эксплуатации технологических установок и для прогнозирования времени замены катализатора.

Представленная на отзыв диссертационная работа Кошкина С.А. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу общим объёмом 180 страниц печатного текста, 49 рисунков и 21 таблицу.

Библиография к работе содержит 116 источников. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и одиннадцати приложений.

**В первой главе** выполнен анализ современного состояния процессов получения этилбензола. Рассмотрены различные технологические решения синтеза и выделения этилбензола, как ныне устаревающие, так и самые современные. В ходе анализа промышленных процессов диссертант рассматривал разнородные технологические стадии в комплексе, с учётом их взаимосвязей и рецикловых потоков. Отдельная часть этой главы посвящена вопросам моделирования промышленных процессов на гетерогенных цеолитсодержащих катализаторах. На основании материала, рассмотренного в первой главе, диссертант сформулировал задачи, которые необходимо было решить в ходе собственных исследований.

**Вторая глава** посвящена анализу объекта исследования. Первая часть главы представляет собой достаточно подробное описание технологического процесса синтеза этилбензола и ректификационного разделения продуктов синтеза. Отмечены особенности процесса, регламентные параметры и факторы, влияющие на процессы алкилирования и трансалкилирования. Материал данной части диссертации даёт вполне ясное описание объекта исследования.

Диссертантом собран большой объём фактических данных по работе промышленной установки за полтора года её эксплуатации. Анализ собранного материала является предметом второй части второй главы диссертации. Качество математического моделирования существующего промышленного процесса чуть ли не в первую очередь зависит от адекватности используемой для моделирования информации. Результаты, изложенные во второй главе, не оставляют сомнений в достоверности данных, использованных диссертантом в качестве исходных параметров разработанных им математических моделей.

Разработка математической модели реактора алкилирования бензола является предметом **третьей главы** диссертации. В данной части своей работы диссертант последовательно и обстоятельно рассматривает механизм процесса,

составляет и анализирует формализованную схему химических реакций, протекающих в процессе алкилирования бензола. С учётом обоснованно принятой гидродинамической модели и модели паро-жидкостного равновесия, автором работы решена обратная кинетическая задача и найдены параметры всех использованных кинетических уравнений. Проверка адекватности разработанной модели выполнена в программе HYSYS и показано удовлетворительное соответствие экспериментальных данных, и данных, предсказываемых математической моделью.

**Четвёртая глава** касается разработки математической модели реактора трансалкилирования. Аналогично тому, как это было сделано в третьей главе, диссертант рассматривает механизм процесса, составляет и анализирует формализованную схему химических превращений реагентов. Также найдены параметры всех использованных кинетических уравнений и выполнена проверка адекватности разработанной модели. Несмотря на больший, чем при алкилировании бензола, разброс экспериментальных значений, созданная диссертантом модель процесса показала в целом достаточно хорошую точность на большей части исследованного периода работы промышленного реактора.

**Пятая глава** касается вопроса оптимизации условий получения этилбензола. По сути, это ключевая глава диссертационной работы, поскольку тут сводятся воедино все ранее полученные результаты и используются для создания комплексной компьютерной модели процесса получения этилбензола, включающей в себя реактора алкилирования, трансалкилирования, ректификационные колонны и теплообменное оборудование. Диссертант рассмотрел влияние на результаты работы установки таких параметров, как температурный профиль, профиль распределения расхода этилена по высоте реактора и соотношение мольного расхода бензола и этилена в реакторе алкилирования, соотношение компонентов и температура сырьевого потока, поступающего в реактор трансалкилирования. Результатом выполненной работы явилось определение режимных параметров, позволяющих достичь

оптимальных показателей работы установки как по выходу основного продукта, так и по экономическим критериям.

Выводы по диссертационной работе обоснованы и корректно отражают полученные результаты, достоверность которых не вызывает сомнения.

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе две статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и две статьи в научных изданиях, рецензируемых в базе данных Web of Science. Получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Текст автореферата и публикации в достаточной степени отражают содержание диссертации.

В целом анализ диссертации Кошкина С.А. как квалификационной работы показывает, что в ней поставлена и решена с использованием компьютерного моделирования актуальная задача – оптимизация промышленной технологии получения этилбензола на цеолитсодержащих катализаторах.

В то же время по диссертационной работе следует высказать ряд замечаний:

1. Основной темой диссертационной работы является моделирование промышленных каталитических процессов. Вопросы математического моделирования химико-технологических процессов рассматривались диссертантом в первой и второй главах, однако, на мой взгляд, автор этим вопросам уделил недостаточное внимание, материал изложен формально и без привязки конкретно к задачам, решаемым диссертантом.

2. Одним из элементов диссертационной работы является определение температурных зависимостей теплоёмкости и плотности компонентов системы (стр. 79-81). Причём диссертант не самостоятельно (экспериментально) определяет эти значения, а использует табличные данные из программы, рассчитывающей их по заложенным в неё же известным температурным зависимостям. Остаётся не понятным – какое это отношение имеет к теме

диссертации и зачем потребовалось включать эти действия в текст диссертации?

3. Проверка математической модели процесса алкилирования на адекватность автором диссертации выполнена недостаточно корректно. Статистический анализ не проводился, а «визуально-графический» способ оставляет слишком много места для вольных интерпретаций. Например, результаты моделирования температурного профиля реактора (рис. 3.9 в диссертации, рис. 2 в автореферате), на мой взгляд, однозначно показывают на существенные отклонения расчётной температуры от экспериментальной для второй секции реактора. Возможно, следовало бы усложнить задачу и дополнительно учесть макрокинетику зерна катализатора и конструкцию реактора. Дополнительно обращает на себя внимание наличие систематической ошибки при расчёте концентрации триэтилбензола (рис. 3.10 в диссертации, рис. 3 в автореферате).

4. Ряд замечаний относятся к тексту и некоторым формулировкам диссертации. Так, например, допущена ошибка в описании схемы алкилирования бензола этиленом при катализе трёххлористым алюминием, где после расслаивания азеотропа бензола с водой бензольный слой назван как «нижний» (стр. 16). Заметны орфографические и грамматические ошибки в тексте. Встречаются стилистические неточности, уместные в упрощённом устном изложении материала, но плохо воспринимаемые в текстовом изложении. Например, фраза: «куб колонны подают далее в ректификационную колонну» (стр. 21). Подписи к графикам не всегда корректны и не дают исчерпывающего пояснения изображённым на графиках функциональным зависимостям (например, рисунки с 2.3 по 2.6, рисунки 3.9, 3.10, 4.6, 5.1).

Однако указанные замечания не затрагивают принципиального содержания диссертации и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Работа в целом представляет собой важный этап практического перехода от упрощённых моделей химических реакций в химических реакторах к комплексному моделированию химико-

технологических процессов как единого целого, когда в математическую модель включаются не только многокомпонентные и многостадийные реакции, но и разнородные единицы оборудования технологической схемы с рецикловыми потоками.

На основании изложенного выше считаю, что по своей тематике целям и постановке задач исследования и полученным результатам работа Кошкина Станислава Александровича «Анализ и оптимизация промышленной технологии получения этилбензола на цеолитсодержащих катализаторах» отвечает пунктам 2, 5, 8 паспорта специальности 05.17.04 - Технология органических веществ и является завершённой научно-квалификационной работой, полностью соответствующей требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842).

Автор диссертационной работы Кошкин Станислав Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.04 - Технология органических веществ.

Старший научный сотрудник  
лаборатории промышленного производства  
кремнийорганических мономеров,  
ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС»  
кандидат технических наук  
телефон: 8(495)673-71-62; e-mail: opererva@mail.ru

О. В. Перерва

« 01 » октября 2018 г.

Подпись О. В. Перервы удостоверяю  
Учёный секретарь ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС»  
кандидат химических наук



Н. И. Кирилина

« 01 » октября 2018 г.

ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС»

Почтовый адрес: 105118, Россия, г. Москва, ш. Энтузиастов, д. 38

Телефон: +7 495 673 49 53; e-mail: info@eos.su