

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт природных ресурсов

Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Гидродинамическое исследование реакционного и смесительного оборудования в процессе алкилирования бензола этиленом

УДК [665.738:547.532+661.716.232]:66.095.253

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Сербин Кирилл Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Хлебникова Е.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой ХТТ и ХК	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт природных ресурсов

Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Кафедра химической технологии топлива и химической кибернетики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Юрьев Е.М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврская работа

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Сербину Кириллу Сергеевичу

Тема работы:

Гидродинамическое исследование реакционного и смесительного оборудования в процессе алкилирования бензола этиленом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Установка по алкилированию 1) Состав и расход сырья 2) Состав и расход катализатора 3) Термобарические и конструкционные параметры смесительного устройства
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1 Литературный обзор 1.1. Способы алкилирования бензола этиленом 1.2. Химизм процесса алкилирования и механизм реакции 1.3. Характеристика сырья 1.4. Характеристика производственного объекта 1.4.1. Технологическая схема промышленной установки алкилирования 1.4.2. Конструкция реактора-алкилятора 1.5. Катализаторы 2 Объект и методы исследования 2.1. Алкилирование бензола этиленом 2.1.1. Алкилирование бензола и отмывка алкилата 2.1.2. Узел алкилирования бензола и обработка несконденсированных газов 2.1.3. Отмывка и нейтрализация алкилата 2.2. Очистка сточных вод 3 Построение гидродинамической модели смесительного устройства 3.1. Постановка задачи исследования 3.2. Создание гидродинамической модели смесителя и реактора алкилирования 3.2.1 Генерация расчетной сетки 3.3. Проведение расчетов и результаты исследования 3.3.1 Модернизация смесительной аппаратуры 3.3.2 Уменьшение расхода катализатора 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность Заключение Список использованной литературы
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Технологическая схема получения этилбензола, чертеж реактора алкилирования, аналитические графики по данным, графики по модели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Обзор литературы	Хлебникова Елена Сергеевна
Объекты и методы исследования	Хлебникова Елена Сергеевна
Гидродинамическое моделирование	Хлебникова Елена Сергеевна
Результаты гидродинамического моделирования	Хлебникова Елена Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сечина Ася Александровна
Безопасность жизнедеятельности и охрана	Ахмеджанов Рафик Равильевич

окружающей среды	
------------------	--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.02.16г.
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Хлебникова Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Сербин Кирилл Сергеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт	Институт природных ресурсов
Направление подготовки	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Химической технологии топлива и химической кибернетики
Период выполнения	Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Сербину Кириллу Сергеевичу

Тема работы:

«Гидродинамическое исследование реакционного и смесительного оборудования в процессе алкилирования бензола этиленом»	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость нового оборудования, затраты на транспортировку и монтаж оборудования
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы амортизации на оборудования
3. <i>Ставки отчислений</i>	Отчисления на социальные нужды – 30 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Расчет капитальных затрат на новое оборудование</i>	Точный расчет всех затрат на покупку нового оборудования, с учетом монтажных работ и транспортировки оборудования
2. <i>Расчет дополнительных затрат на новое оборудование</i>	Расчет дополнительных затрат на оборудование, включающих в себя: -издержки на амортизацию -издержки на ремонт -прочие издержки (0,5-1% от стоимости оборудования)
3. <i>Расчет расходов до и после модернизации оборудования</i>	Проведены расчеты всех затрат до и после установки нового оборудования.

4. Расчет чистого дисконтированного дохода, сроков окупаемости	Расчет чистого дисконтированного дохода, сроков окупаемости при различных капиталовложениях (стандартные, +10%, -10%).
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К21	Сербин Кирилл Сергеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт	Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность)	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Химической технологии топлива и химической кибернетики
Период выполнения	Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

Группа	ФИО
2К21	Сербину Кириллу Сергеевичу

Тема работы:

«Гидродинамическое исследование реакционного и смесительного оборудования в процессе алкилирования бензола этиленом»	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объект исследования – технология производства этилбензола; Рабочая зона – компьютерный класс, технологическая зона; Область применения – химическая промышленность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты);	1.1.Выявление опасных и вредных факторов при эксплуатации объекта исследования: - вредные вещества, производственный шум, вибрация; - физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой; - действие вредных веществ на организм (этилбензол, бензол, этилен, хлористый этил, хлористый алюминий); - предлагаемые средства защиты для работы на установке производства этилбензола: (коллективная защита – шумоизолирующие конструкции, индивидуальные средства защиты – костюм, ботинки, перчатки, каска, очки защитные, маска) 1.2.Выявление опасных и вредных факторов при разработке научного исследования:

– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	– Анализ микроклимата в помещении; – Анализ освещенности рабочей зоны; – Анализ электробезопасности на рабочем месте; – Анализ пожаровзрывобезопасности рабочего места.
2. Экологическая безопасность: 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду. 2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	2.1. Анализ негативного воздействия на окружающую среду работы установки алкилирования; Влияние на атмосферу, гидросферу, литосферу 2.2. Анализ негативного воздействия на окружающую среду при работе за ПЭВМ; 2.3. Анализ решений по обеспечению экологической безопасности.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. 3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут при проведении исследований. 3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	3.1. Перечень возможных ЧС при эксплуатации установки алкилирования - пожар, взрыв, землетрясения; 3.2. Анализ действий работников при возникновении ЧС; 3.3. Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	Анализ законодательно-правовой базы в области обеспечения безопасности: 4.1. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2K21	Сербин Кирилл Сергеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт	Институт природных ресурсов
Направление подготовки	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Химической технологии топлива и химической кибернетики
Период выполнения	

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.11.15	Литературный обзор	15
01.12.15	Объект и методы исследования	20
01.02.16	Гидродинамическое моделирование	20
05.05.15	Проведение расчетов и результаты исследования	15
15.03.15	Технико-экономическое обоснование	15
27.04.15	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Хлебникова Е.С.			

Согласовано:

Зав. кафедрой ХТТ и ХК	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Юрьев Е.М.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Работа содержит 74 стр., 18 рисунков, 6 таблиц, 27 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: алкилирование, этилбензол, гидродинамическая модель, смесительное устройство, компьютерная моделирующая система.

Объектом исследования является типичная технологическая установка алкилирования бензола этиленом.

Цель работы – оценить с помощью разработанной на кафедре ХТТ гидродинамической модели смесительного оборудования целесообразность проведения реконструкции смесительного устройства в технологии алкилирования.

С помощью разработанной гидродинамической модели проведены расчеты по оптимальному вводу реагентов в смесительную камеру.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft® Office Word 2007.

Содержание

Введение.....	13
1. Литературный обзор	15
1.1. Способы алкилирования бензола этиленом.....	15
1.2. Химизм процесса алкилирования и механизм реакции.....	16
1.3. Характеристика сырья.....	18
1.4. Характеристика производственного объекта	20
1.4.1. Технологическая схема отделения алкилирования	22
1.4.2. Конструкция реактора-алкилятора.....	23
1.5. Катализаторы.....	25
2. Объект и методы исследования	28
2.1. Алкилирование бензола этиленом	28
2.1.1. Алкилирование бензола и отмывка алкилата.....	28
2.1.2. Узел алкилирования бензола и обработка несконденсированных газов	29
2.1.3. Отмывка и нейтрализация алкилата.....	32
2.2. Очистка сточных вод.....	35
3. Построение гидродинамической модели смесительного устройства	39
3.1. Постановка задачи исследования.....	39
3.2. Создание гидродинамической модели смесителя алкилирования	40
3.2.1. Генерация расчетной сетки	42
3.3. Проведение расчетов и результаты исследования	43
3.3.1. Модернизация смесительной аппаратуры.....	45
3.3.2. Уменьшение расхода катализатора	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	50

4.1. Расчет капитальных затрат на новое оборудование	51
4.2. Расчет дополнительных затрат на новое оборудование	51
4.2.1. До модернизации:	52
4.2.2. После модернизации:	52
4.3. Чистый дисконтированный доход, сроки окупаемости	53
5. Социальная ответственность	56
5.1. Характеристика факторов рабочего места	56
5.2. Характеристика опасных факторов	60
5.3. Охрана окружающей среды	67
5.4. Правовые вопросы обеспечения безопасности	68
Заключение	69
Список литературы	70
Приложение А.	74

Введение

Темой данной работы является рассмотрение процесса получения этилбензола методом алкилирования бензола этиленом, а также исследование эффективности смесительной камеры.

Наиболее распространенным процессом нефтехимического синтеза является каталитическое алкилирование бензола олефинами, что определяется высоким спросом на алкилароматические углеводороды – сырьё в производстве синтетических каучуков, пластических масс, синтетических волокон и др.

Алкилированием называют процессы введения алкильных групп в молекулы органических и некоторых неорганических веществ. Эти реакции имеют большое практическое значение для синтеза алкилароматических соединений, изо-алканов, аминов, меркаптанов и сульфидов и др. Реакция алкилирования бензола алкилхлоридами в присутствии безводного хлорида алюминия впервые была осуществлена в 1877 г. Ш. Фриделем и Дж. Крафтсом. В 1878 г. ученик Фриделя Бальсон получил этилбензол алкилированием бензола этиленом в присутствии AlCl_3 . Со времени открытия реакции алкилирования было разработано множество различных методов замещения водородных атомов бензола и других ароматических углеводородов на алкильные радикалы. Для этого применяли различные агенты алкилирования и катализаторы. Скорость алкилирования ароматических углеводородов в несколько сот раз выше, чем парафинов, поэтому алкильная группа практически всегда направляется не в боковую цепь, а в ядро. Для алкилирования ароматических углеводородов олефинами применяются многочисленные катализаторы, имеющие характер сильных кислот, в частности серная кислота (85-95%), фосфорная и пиррофосфорная кислоты, безводный фтористый водород, синтетические и природные алюмосиликаты, иониты, гетерополиокислоты. Кислоты в жидком виде

проявляют каталитическую активность в реакциях алкилирования при невысоких температурах (5-100°C); кислоты на твердых носителях, например, фосфорная кислота на кизельгуре, действуют при 200-300°C; алюмосиликаты активны при 300-400 и 500°C и давлении 20-40 кгс/см (1,96-3,92 МН/м).

Актуальность данной темы выражается в необходимости извлечения из этилбензола стироа методом дегидрирования.

В настоящее время существует ряд проблем, связанных с процессом алкилирования. Одной из проблем является наличие сопутствующих побочных реакций из-за присутствия нежелательных примесей в сырье. Данная проблема приводит к необходимости повышения селективности процесса.

Другая проблема, с которой сталкиваются в процессе производства, это применение устаревших кислотных катализаторов, которые вызывают коррозию оборудования, а высокая опасность производства требует строгого соблюдения требований производственной безопасности.

Одной из наиболее важных проблем, возникающей при эксплуатации установок алкилирования бензола этиленом, является образование большого количества загрязненных катионами алюминия сточных вод.

Таким образом, главной целью работы является гидродинамическое моделирование процесса алкилирования бензола этиленом и оценка целесообразности реконструкции реактора для увеличения выхода продукта алкилирования за счет интенсификации смешения.

1. Литературный обзор

1.1. Способы алкилирования бензола этиленом

Этилбензол производят в промышленности основном, как сырьё для получения стирола. Большая часть этилбензола получается путем алкилирования бензола этиленом. Реакция алкилирования может протекать как в жидкой, так и в газовой фазе. В промышленности, наиболее распространённый метод в жидкой фазе с хлористым алюминием в качестве катализатора.

Химизм алкилирования по Фриделю-Крафсту

Старейший метод алкилирования бензола этиленом заключается в проведении реакции в жидкой фазе, с использованием безводного хлористого алюминия в качестве катализатора. Такая реакция – частный случай классической реакции Фриделя-Крафтса, и открыта она в 1879 году. Для катализа жидкофазного алкилирования бензола этиленом хлористый алюминий оказывается наиболее предпочтительнее других кислот, льюисовских или бренстедовских. Так же, для повышения эффективности используют со-катализаторы, или промоторы. При растворении хлористого алюминия в бензола в реакционную смесь добавляют соляную кислоту, образующую комплекс. Этот комплекс, взаимодействуя с этиленом образует этилбензол. [1]

Алкилирование осложнено рядом побочных реакций, таких как крекинг, полимеризация.

Реакция алкилирования проводится при атмосферном или несколько повышенном давлении и температура 85-100°C.

При алкилировании бензола при температуре ниже 250-300°C достигается полное превращение бензола в этилбензол, однако с повышением температуры до 450-500°C требуется и повышение давления до 10-20 кгс/см³.

Реакция алкилирования бензола этиленом является последовательной обратимой реакцией первого порядка. [2]

Состав реакционной смеси определяется отношением этилена и бензола.

Бензол для алкилирования должен содержать не более 0,003-0,006% воды, в то время как товарный этилбензол содержит 0,06-0,08% воды, поэтому приходится проводить процесс обезвоживания бензола методом азеотропной дистилляции. Содержание серы не должно превышать 0,1%. Повышенное содержание серы вызывает увеличение расхода катализатор и ухудшает качество готовой продукции.

Процесс алкилирования проводится в алкиляторе – реакционной колонне, защищенной от коррозии эмалью или графитовой плиткой. Колонна имеет три секции с рубашками для охлаждения смеси, однако основное количество тепла отводится испарением части бензола. [3]

Кислотный катализатор состоит из хлористого алюминия (10-15%), бензола (50-60%) и полиалкилбензолов (~30%). Для образования хлористого водорода, в каталитический комплекс добавлю 2-3% воды от массы хлоралюминия, а так же дихлорэтан или хлористый этил. [4]

После проведения алкилирования необходимо провести процесс выделения этилбензола. Проводят процесс в ректификационной колонне при атмосферном давлении. [5]

Помимо кислотного катализатора, могут использоваться алюмосиликатные катализаторы в жидкой фазе, при температуре в 310°C, и 63 кгс/см³.

Алкилирование бензола на твердом фосфорно-кислотно катализаторе не применяется, т.к. в ходе реакции получается только изопропилбензол. [6]

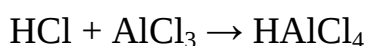
1.2. Химизм процесса алкилирования и механизм реакции

Существует много теорий, выдвинутых для объяснения механизма алкилирования в присутствии хлорида алюминия. Однако большинство из

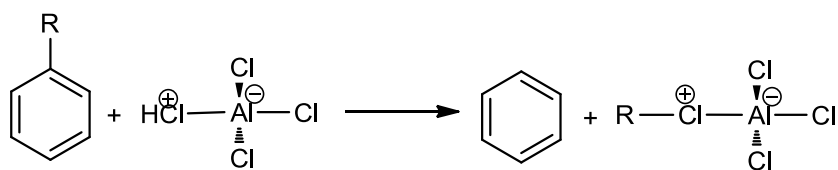
них не нашло экспериментального подтверждения. Полностью объяснить все превращения можно лишь с помощью сочетания двух теорий: теорий комплексов и карбониевой теории. [7]

Согласно теории комплексов на первой стадии олефин присоединяется к хлористому алюминию в присутствии хлорида водорода. Затем присоединяется бензол и образуется тройной комплекс. Затем к комплексу присоединяется олефин, происходит реакция обмена между комплексом и исходным углеводородом (бензолом) с образованием алкилбензола.

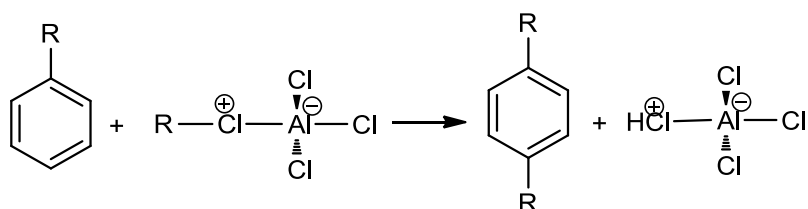
На основании того, что экспериментально было показано, что хлористый алюминий поглощает хлороводород, было высказано предположение об образовании на первой стадии реакции алкилирования хлоралюминиевой кислоты:



Это соединение очень сильно диссоциирует на ионы. Активирующее действие хлористого водорода должно заключаться в гидрогенизации бензола протоном хлоралюминиевой кислоты. Такой гидрогенизированный бензол должен активизироваться настолько, чтобы стало возможным быстрое алкилирование. Также было высказано предположение о возможности непосредственного присоединения HAlCl_4 к реагирующим веществам. При этом олефины должны образовывать с HAlCl_4 эфиры, аналогичные с ароматическими углеводородами, и дают алкилированные соединения. Согласно карбониевой теории, под действием силового поля аниона AlCl_4^- усиливается поляризация ковалентной связи между алкильной группой и бензольным ядром, благодаря чему легко протекает реакция обмена по схеме:



Далее реакция протекает покарбониевому механизму:



Карбониевая теория хорошо объясняет образование алкилбензолов путем обмена протона на алкильный радикал. Однако на основе этой теории лежит предположение, что хлористый алюминий с хлористым водородом образует хлоралюминиевую кислоту, в то время как в процессе алкилирования образуется комплекс, содержащий не HAlCl_4 , а соединение $\text{Al}_2\text{Cl}_6 \cdot \text{HCl}$. Кроме того, эта теория не требует обязательного образования комплекса, наличие которого является непременным условием протекания реакции алкилирования на хлористом алюминии. [8]

1.3. Характеристика сырья

В таблице 1 приведены характеристики сырья, участвующего в процессе алкилирования бензола этиленом.

Таблица 1 – Характеристика сырья

Сырье	Показатели качества	Область применения, назначение
Этилбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$ Молекулярная масса: 106,16 гр/моль Бесцветная жидкость с запахом бензола $T_{\text{пл}} = -94,97^\circ\text{C}$ $T_{\text{кип}} = 136,19^\circ\text{C}$ $H_{\text{сгор}} = -4568,6 \text{ кДж/моль}$ Растворимость в воде 0,014 в 100г (15°C) Смешивается с	В промышленности используют как сырье для синтеза стирола Добавка к моторному топливу В качестве разбавителя и растворителя. Большую часть этилбензола получают алкилированием

	большинством органических растворителей Обладает свойствами ароматических соединений Содержится в сырой нефти, продуктах каталитического риформинга. [7,9]	бензола этиленом.
Этилен (этен)	C_2H_4 Бесцветный горючий газ со слабым запахом Частично растворим в воде (~25 млн в 100гр воды) Хорошо растворим в диэтиловом эфире и в углеводородах [7,9]	Сырье, необходимое для алкилирования бензола, для получения этилбензола Мировое производство составляет примерно 107 млн тонн в год Источником этилена является пиролиз углеводородного сырья, например, этана, бутана.
Бензол	C_6H_6 Молекулярная масса = 78,11 гр/моль Бесцветная жидкость с характерным запахом	Основная область применения (до 90%) – производство этилбензола, кумола, циклогексана,

	$T_{пл}=5,53^{\circ}C$ $T_{кип}=80,1^{\circ}C$ $H_{сгор}=-3303 \text{ кДж/моль}$ $H_{обр}=-82,98 \text{ кДж/моль}$ Растворимость в воде 7,3гр в 100гр воды (при $25^{\circ}C$) Неограниченная растворимость в углеводородах, эфирах Не растворим в этиленгликоле, глицерине Растворяет жиры, серу, фосфор, йод Образует азеотропные смеси с водой, метанолом, этанолом.[7,9]	анилина. Используется как компонент моторного топлива для повышения октанового числа Используется как растворитель и экстрагент в производстве лаков, красок, ПАВ
--	---	---

1.4. Характеристика производственного объекта

Существует множество производств, цехов, профилирующих на производстве этилбензола, стирола, полистирола. Типичные стадии производства выглядят следующим образом:

- Подготовка сырья и полуфабрикатов
- Процесс переноса сырья в зону реактора, подача этилена, бензола, кат. комплекса, непосредственно перед самим процессом алкилирования
- Алкилирование бензола
- Отмывка катализатора

- Разделение реакционной массы (обычно используется процесс ректификации, где % выхода этилбензола повышается с 60 до 99)
- Азеотропная осушка свежего и возвратного бензола
- Очистка сточных вод от соединений алюминия

Первоначально, происходит подготовка сырья. Сырьем служит нефтяной бензол, поступающий по трубопроводу в емкости с нефтяным и возвратным бензолом. Одновременно с поступлением продуктов производится откачка бензольной шихты (смесь свежего и возвратного бензола) насосами по трубопроводу в отделение азеотропной осушки производства этилбензола.

Осушенный бензол из отделения азеотропной осушки поступает по трубопроводу подается в отделение алкилирования.

Из всех емкостей с бензолом производится дренирование присутствующей влаги в дренажную емкость.

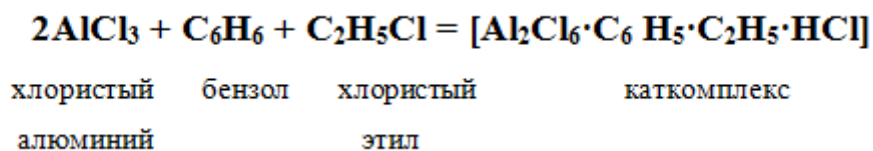
Основной стадией производства является сам процесс алкилирования.

Отделение алкилирования предназначено для получения нейтральной реакционной массы, представляющей собой смесь бензола, этилбензола, поли-алкилбензолы, смола. Полученная в ходе алкилирования реакционная масса отправляется на ректификацию, где происходит отделение чистого этилбензола.

В основном, на производстве процесс алкилирования протекает в 3 стадии:

- Приготовление кат. комплекса
- Непосредственно процесс алкилирования
- Отмывка катализатора и нейтрализация алкилата

Кат. комплекс представляет собой комплекс, готовящийся из хлористого алюминия, хлористого этила в смеси бензола с моно- или полиалкилбензолами. Суммарное содержание влаги не должно превышать 0,007%. [10]



1.4.1. Технологическая схема отделения алкилирования

Принципиальная технологическая схема отделения алкилирования представлена на рисунке А.1 (прилож. А).

Для приготовления катализаторного комплекса предназначен специальный аппарат - реактор мешалочного типа.

Приготовление катализатора производится по непрерывной схеме, для чего в реактор постоянно подается бензол, хлорэтил и хлористый алюминий.

Из реактора катализаторный комплекс через переливной (боковой) штуцер сливается в сборник. В процессе приготовления катализаторного комплекса выделяется хлористый водород, который направляется в скруббер, орошаемый обратной водой. Кислая вода из скруббера сливается в отстойник [10].

В алкилатор, через смесительную камеру, подается свежий и циркулирующий каткомплекс, бензол-конденсат, бензол и ПАБ их колонны К-31. Также через барботер подается этилен. С верха колонны отводятся пары для последующей конденсации и возвращения в реактор бензола-конденсата [10].

Реакционная масса из алкилатора, пройдя через систему теплообменников, поступает в отстойник, в котором происходит отделение алкилата от каталитического комплекса.

Однако, поскольку после отстойника в алкилате все еще содержится большое количество кат. комплекса, в смесителе Zulzer происходит его смешение с 2-3 объемами воды. Затем эта эмульсия направляется в отстойник, где отделяется вода. Остатки соединений хлора отмываются в колонне.

Для нейтрализации алкилата его смешивают с раствором щелочи в смесителе. После чего смесь разделяют в отстойнике. Остатки щелочи вымываются водой в колонне. Затем отделяется промывочная вода и далее алкилат направляется в отделение ректификации для дальнейшей очистки.

1.4.2. Конструкция реактора-алкилятора

Алкилятор К-3 представляет собой полый аппарат колонного типа с барботером, в который подается газообразный этилен, с вынесенной камерой смешения, куда поступают бензол, кат. комплексы.

На рисунке 1 представлено схематическое изображение реактора алкилирования, со всеми входящими и выходящими потоками.

Где:

1. Поток, выходящий сверху реактора, содержащий пары бензола и поверхностно-активного бензола. Температура 80-100 °С.
2. Поток этилбензола, кат. комплекса, направляемого на отмывку и поверхностно активного бензола. Температура 115-135°С.
3. Подача этилена. Расход 0,7-2,2 т/ч. Температура сырья 10-15°С, давление – 5 атм.
4. Поверхностно активный бензол.
5. Поток свежего кат. комплекса. Температура 30-60°С, расход 2т/ч
6. Осушенный бензол. Расход 7-22 т/ч, температура – 40-100°С.
7. Поток возвратного кат. комплекса. Расход 7-10 м3/ч, температура 60°С.
8. Конденсированный бензол. Температура 20-60°С.

Давление в реакторе равняется 1 атм. [10]

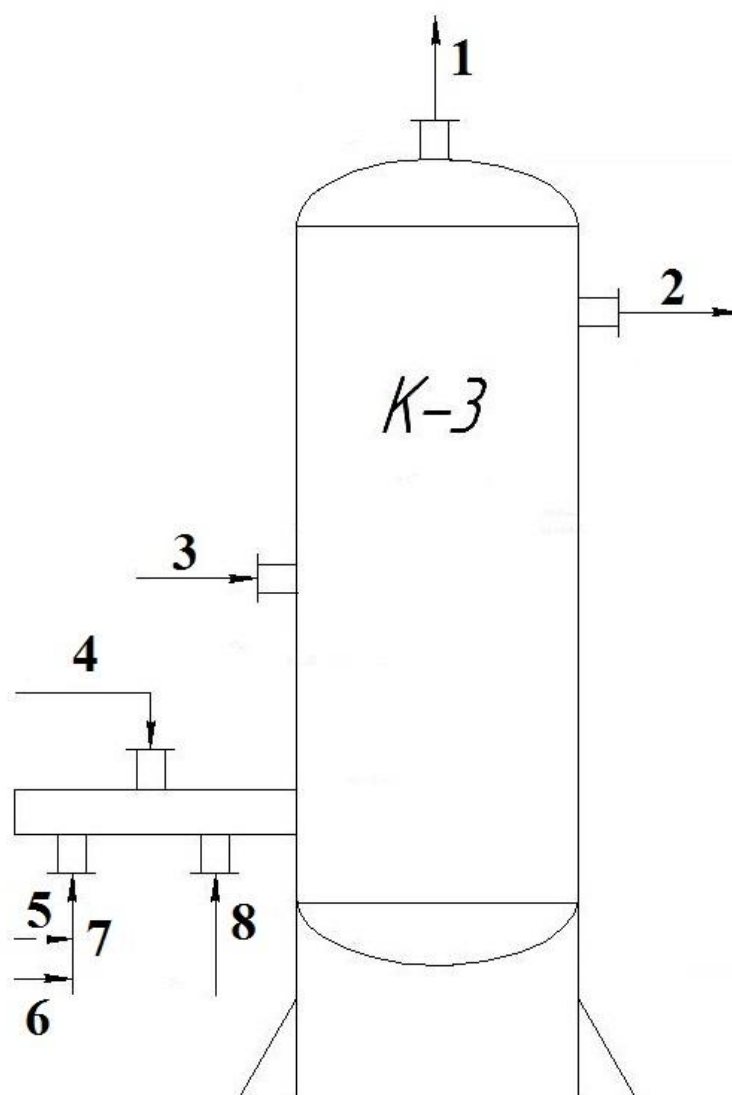


Рисунок 1 – Схематическое изображение реактора алкилирования

Выделяющееся тепло в ходе реакции отводится циркулирующим кат. комплексом, испаряющимся бензолом и бензольным конденсатором.

Выходящие пары конденсируются в конденсаторе, охлаждаемом обратной водой.

Из алкилятора продукт направляется через холодильник в отстойник, где происходит разделение циркулирующего кат. комплекса от алкилата.

При повышении давления в алкиляторе до $2,5 \text{ кгс/см}^2$ срабатывает световая и звуковая сигнализация, а при повышении давления до $3,2 \text{ кгс/см}^2$

срабатывает схема защиты — закрываются отсечные клапана на трубопроводах.

Одной из проблем, недостатков данной схемы реактора-алкилятора является неэффективное перемешивание компонентов, а, следовательно, невысокий выход продукции.

Решением проблемы низкой эффективности смешивания продуктов в смесительной камере являлось изменение расположения патрубков, без изменения расхода сырья, а так же, дооборудование камеры смесительной аппаратурой компании «Sulzer». [10]

1.5. Катализаторы

В процессе алкилирования бензола этиленом используются различные вариации катализаторов. Известны следующие катализаторы:

- Каталитическая композиция, включающая цеолит, а также оксиды кремния, алюминия, магния или природные глины и их комбинации
- Кислотный цеолитсодержащий катализатор
- Катализатор, содержащий цеолит и оксид алюминия
- Катализатор в шариковой форме с диаметром гранул до 8мм, состоящий из 50% масс. высококремнеземного цеолита с мольным соотношением оксид кремния : оксид алюминия (20-150):1 и 45-95 мас.% аморфной алюмосиликатной основы (связующего) и имеющий химический состав, мас. %: оксид алюминия 3,0-9,5; оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) 0-4,5; оксид кальция 1,0-5,0; оксид натрия 0,1-0,6; оксид кремния остальное. [11]
- Наиболее распространённый тип катализатора: хлорид алюминия в жидкой фазе.

В источнике [12] авторы рассматривают способ алкилирования бензола этиленом и трансалкилирования диэтилбензолов.

Процесс трансалкилирования осуществляется в реакторе. Диэтилбензолы в смеси с возвратным бензолом (шихта) нагреваются от 80-90°C до 240-250°C за счет тепла алкилата. Затем шихта поступает на испарение и перегрев в печь. Из печи пары шихты с температурой 420-460°C поступают в реактор трансалкилирования.

В реакторе в присутствии цеолитсодержащего катализатора трансалкилирования, следующего химического состава: SiO_2 72,0; Al_2O_3 27,94; K_2O 0,06% мас., соответственно протекает реакция трансалкилирования-переалкилирования диэтилбензолов в этилбензол при температуре 420-460°C и давлении 17-24 атм.

Реактор трансалкилирования состоит из 3-х секций, в которых находятся слои катализатора. Температура в каждой секции реактора, а также давление на входе в реактор, на выходе из него и перепад давления по реактору контролируются.

Как показало обследование работы цеха №46 производства этилбензола по описанной выше технологии в ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», выход этилбензола в процессе трансалкилирования диэтилбензолов в этилбензол весьма низок. Одновременно, селективность процесса алкилирования бензола этиленом недостаточна.

Целью предлагаемого авторами изобретения является повышение выхода этилбензола и селективности совмещенного процесса алкилирования-трансалкилирования при одновременном снижении энергозатрат и эксплуатационных расходов.

Поставленная цель достигается за счет одновременного проведения процессов алкилирования и трансалкилирования путем загрузки в один и тот же реактор алкилирования бензола этиленом катализаторов двух различных типов. Первым по ходу сырья в реакторе загружается катализатор алкилирования, а вторым трансалкилирования. При этом массовое

соотношение катализаторов (5-1):1, соответственно. Процесс осуществляется при температуре 380-450°C.

Анализ известных способов алкилирования бензола этиленом и трансалкилирования диэтилбензолов в этилбензол показал, что использование катализаторов алкилирования и трансалкилирования для получения этилбензола известно. Известен и факт проведения реакций при температурах 380-425°C. Однако только факт загрузки в один реактор первым по ходу сырья катализатора алкилирования, а затем катализатора трансалкилирования при массовом соотношении катализаторов (5-1):1, соответственно, и осуществление процесса при температуре 380-450°C позволяет увеличить выход этилбензола, улучшить селективность совмещенного процесса при одновременном снижении энергозатрат и эксплуатационных расходов.

2. Объект и методы исследования

Объектом исследования в данной работе является смесительная аппаратура, используемая на одном из нефтехимических предприятий по производству полимеров.

В 2012 году на промышленной установке получения этилбензола была проведена реконструкция смесительной камеры перед реактором алкилирования. До реконструкции аппаратуры смешение реагентов осуществлялось в несколько этапов. На первом этапе свежий и возвратный кат. комплекс смешивались в камере, установленной перед реактором, затем, поток кат. комплекса поступал в реактор алкилирования, оборудованный барботажным устройством, через которое подавался этилен. Так происходило смешение этилена с кат. комплексом и бензолом.

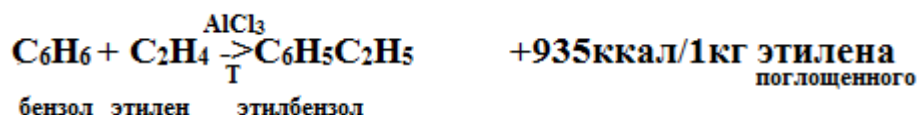
Реконструкция смесительной камеры предполагала собой дооборудование ее новыми смесительными устройствами Sulzer, представляющие собой металлические стержни, установленные непосредственно в камере смешения по ходу движения реакционных потоков, через которые планируется организовывать подачу этилена, бензола и кат. комплекса.

Целью работы является построение гидродинамической модели новых смесительных элементов, рассмотрение эффективности смешения и возможное увеличение выхода этилбензола в процессе алкилирования бензола этиленом за счет интенсификации смешения.

2.1. Алкилирование бензола этиленом

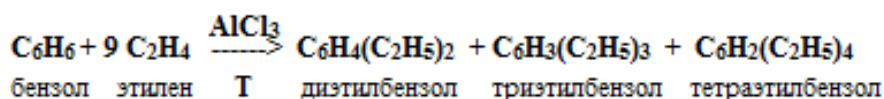
2.1.1. Алкилирование бензола и отмывка алкилата

Синтез этилбензола производится методом алкилирования бензола этиленом в присутствии комплексного соединения хлористого алюминия, алкилароматических углеводородов и хлористого водорода:



Процесс алкилирования бензола производится при температуре 110-135°C и при давлении 0,5-3,0 кгс/см². Селективность процесса и качество товарной продукции с изменением температуры в указанном интервале не меняются. [13]

Кроме основной реакции протекает ряд побочных реакций с получением полиалкилбензолов (ди, три, тетра-этилбензол):



2.1.2. Узел алкилирования бензола и обработка несконденсированных газов

Реакция переалкилирования обратима, поэтому полиалкилбензолы после выделения из алкилата рециркулируют с целью получения этилбензола.

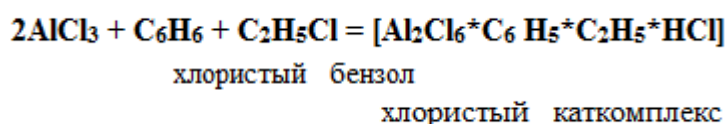
В результате реакции алкилирования и трансалкилирования устанавливается термодинамический равновесный состав продуктов реакции, зависящий только от соотношения алкильных радикалов и бензольных ядер в реакционной смеси. Оптимальное весовое соотношение — бензола : этилена — (8-14) : 1. При этом реакционная смесь будет соответствовать оптимальному составу (массовые доли):

- бензол — 50-54 %,
- этилбензол — 26-34 %,
- полиалкилбензолы — 8-11 % объема.

В отделение алкилирования производства этилбензола входят:

- узел приготовления катализаторного комплекса;
- узел алкилирования бензола и обработка несконденсированных газов;
- узел водной отмывки и нейтрализации алкилата. [13]

Катализаторный комплекс готовится из хлористого алюминия и хлористого этила в смеси бензола с моно- или полиалкилбензолами, содержание влаги должно быть не более 0,006%.



Металлоорганический катализаторный комплекс сильно коррозионноспособен, крайне неустойчив к воздействию воды, при контакте с которой образует гидроокись алюминия:



Образовавшаяся гидроокись алюминия малорастворима (образует осадок), в результате чего забивает аппараты и трубопроводы производства.

Для приготовления катализаторного комплекса предназначен специальный аппарат мешалочного типа – реактор. Приготовление катализатора производится по непрерывной схеме, для чего в реактор постоянно подается:

- бензол с полиалкилбензолами (стабилизация расхода обеспечивается САР);
- хлористый этил через ротаметр;
- хлористый алюминий загружается электрическим подъемником в приемный бункер, где просеивается и поступает в бункер-ворошитель.

Оттуда хлористый алюминий подается в реактор шнековым питателем.

Регулировка количества подаваемого катализатора осуществляется изменением скорости вращения шнека на питателе частотно-регулирующим приводом IG5-RUS, установленным на щите КИПиА в операторной.

Осушенный бензол, полиалкилбензолы и хлористый этил поступает в реактор.

Хлористый этил поступает из железнодорожных цистерн (ЖДЦ) по трубопроводу в емкость. Перед приёмом хлорэтила, необходимо убедиться, что на панели «КЛ. вых.» контроллера, установлено давление задания, равное $0,65 \text{ кгс/см}^2$.

Во время приёма хлористого этила необходимо постоянно контролировать давление в емкости по показаниям прибора на щите КИП или по показаниям на дисплее датчика давления, установленного на самой емкости.

Если давление в емкости, во время приёма хлористого этила, превысит $0,7 \text{ кгс/см}^2$, следует немедленно прекратить приём.

При увеличении уровня в ёмкости до 80% - срабатывает звуковая и световая сигнализация на щите КИП в операторной, при увеличении уровня до 85% - закрывается отсечной клапан на трубопроводе приёма хлористого этила в ёмкость и срабатывает звуковая и световая сигнализация.

При нормальной работе, давление в ёмкости поддерживается постоянным схемой автоматического регулирования, регулирующие клапаны установлены на трубопроводах входа азота в емкость и выхода азота из емкости соответственно.

Контроль и регистрация температуры хлористого этила в ёмкости осуществляется по показаниям прибора, установленного на щите КИП.

Расход хлористого этила из емкости в реактор поддерживается постоянным схемой автоматического регулирования.

Из реактора катализаторный комплекс через переливной (боковой) штуцер сливается в сборник. По мере накопления катализатора в сборнике, во избежание осаждения хлористого алюминия и для полного его растворения, производится циркуляция насосом через смеситель фирмы «Зульцер» с одновременной откачкой в алкилатор.

В процессе приготовления катализаторного комплекса выделяется хлористый водород, который направляется в скруббер, орошаемый оборотной водой. Кислая вода из скруббера сливается в отстойник. Отдувка после скруббера направляется в атмосферу.

При повышении уровня в скруббере до 65% закрывается отсечной клапан на трубопроводе подаче оборотной воды в скруббер.

Освобождение узла приготовления кат. комплекса производится путем откачки катализаторного комплекса насосом в аппарат.

Насосы оснащены схемами защиты, осуществляющими отключение их электродвигателей и запрет пуска, при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

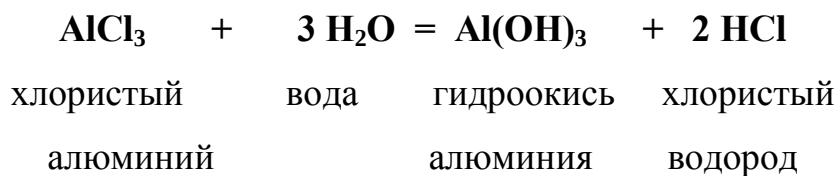
- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – $2,0 \text{ кгс/см}^2$;
- максимальное давление в бачке затворной жидкости – $2,5 \text{ кгс/см}^2$;
- минимальный уровень затворной жидкости в бачке – $0,06 \text{ м}$;

Световая и звуковая сигнализация срабатывает при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – $2,0 \text{ кгс/см}^2$;
- максимальное давление в бачке затворной жидкости – $2,5 \text{ кгс/см}^2$;
- минимальный уровень затворной жидкости в бачке – $0,06 \text{ м}$;
- минимальное давление в бачке затворной жидкости – $1,5 \text{ кгс/см}^2$;
- максимальная температура затворной жидкости – 65°C . [13]

2.1.3. Отмывка и нейтрализация алкилата

Алкилат из отстойника содержит значительное количество катализаторного комплекса, поэтому алкилат подвергается промывке оборотной водой с целью полного удаления остатка катализаторного комплекса и самотеком сливается в емкость. Уровень в емкости поддерживается постоянным САР. При смешении с водой происходит отщепление хлористого алюминия от углеводородной части комплекса и его гидролиз по реакции:



В процессе смешения алкилата с водой образуются стойкие эмульсии воды в алкилате и алкилата в воде — муьмы. Эмульсии, оставшиеся в алкилате, удерживают некоторое количество как кислых, так и щелочных продуктов. При нагревании в процессе ректификации происходит разрушение этих эмульсий. При этом из кислых эмульсий выделяется хлористый водород, вызывающий коррозию аппаратуры, а из щелочных — соли. Поэтому алкилат следует тщательно отстаивать, отделять от отстоявшейся фазы.

Реакционная масса в смесителе смешивается с 2-3-х кратным количеством кислой воды.

В емкости происходит разложение кат.комплекса. Нижний слой жидкости — ХЗВ циркулирует насосом. Избыток ХЗВ насосом выводится в емкость для дальнейшей очистки от углеводородных примесей в отделении локальной очистки сточных вод.

Верхний слой жидкости в емкости— реакционная масса – по верхнему переливу самотеком поступает на всас насоса и подается в отмывочную колонну, где производится отмывка от соединений хлора оборотной водой.

Подпитка свежей водой для разложения и отмывки осуществляется в отмывочную колонну.

Избыток воды из куба колонны по разделу фаз самотеком сливается в сборник, откуда насосом подается в смеситель.

Алкилат с верха колонны самотеком сливается в смеситель, куда для нейтрализации алкилата подается циркулирующий 0,5 – 4,5 % раствор щелочи NaOH насосом. Расход щелочи поддерживается постоянным САР. Предусмотрена схема подпитки раствора в емкости свежей щелочью и оборотной водой. Расход свежей щелочи поддерживается постоянным САР.

Насосы оснащены схемами защиты, осуществляющими отключение их электродвигателей и запрет пуска, при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – 3,2 кгс/см²;
- максимальная температура подшипников – 70°C.

Световая и звуковая сигнализация срабатывает при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – 3,2 кгс/см²;
- предмаксимальная температура подшипников – 65°C;
- максимальная температура подшипников – 70°C.

После смесителя алкилат со щелочью поступает в отстойник, где алкилат отстаивается от раствора щелочи. По мере уменьшения концентрации щелочи в отстойнике производится подпитка свежим 6-10% раствором щелочи от насоса. Вывод отработанной щелочи из системы производится насосом в трап подземной емкости или в качестве орошения скруббера.

Нейтрализованный алкилат из отстойника самотеком сливается в сборник, откуда насосом подается в колонну на отмывку от щелочи. Уровень в сборнике поддерживается постоянным САР.

Отмывка производится оборотной водой, поступающей в промывочную колонну из коллектора оборотной воды. Расход воды в аппарат поддерживается постоянным САР.

Уровень в аппаратах поддерживается постоянным САР .

Нижний слой колонны— химически загрязненная вода — сливается по разделу фаз в емкость, откуда насосом подается в колонну.

Алкилат из колонны самотеком сливается в отсек-отстойник емкости, где алкилат отстаивается от увлекаемой влаги. Верхний слой отсека — отстойника - алкилат — переливается через перегородку в углеводородный отсек, откуда откачивается насосом. Уровень в углеводородном отсеке емкости поддерживается постоянным САР.

Насосы оснащены схемами защиты, осуществляющими включение световой и звуковой сигнализации при повышении температуры подшипников до 65°C и отключение их электродвигателей с одновременным включением световой и звуковой сигнализации при повышении температуры подшипников до 70°C .

Нижний слой отстойного отсека емкости— хим.загрязненная вода — по разделу фаз сливается через дренаж в трап емкости.

Кислые отдувки с аппаратов направляются в скруббер, орошаемый оборотной водой для улавливания хлористого водорода. Вода из скруббера сливается в емкость.

Отдувка после поступает в скруббер, орошаемый полиалкилбензолами, для улавливания бензола. Полиалкилбензолы со скруббера сливаются в отстойник, а отдувка направляется в атмосферу.

Нейтральные и щелочные отдувки из емкостей направляются в скруббер для улавливания паров бензола полиалкилбензолами, после чего полиалкилбензолы сливаются в отсек-отстойник емкости, а отдувка направляется в атмосферу[13].

2.2. Очистка сточных вод

На установке существует схема нейтрализации кислой отпаренной химически загрязненной воды 6-10% раствором едкого натрия. [14]

В результате обработки алкилата и отработанного катализаторного комплекса водой образуются кислые и щелочные сточные воды. Кроме того, в процессе осушки бензола в ректификационной колонне и при работе с установками очистки газа образуются нейтральные сточные воды. Переработка сточных вод производится с целью:

- очистки сточных вод от углеводородов путем отпарки;
- отмывки сточных вод от кислоты путем нейтрализации 6-10% раствором едкого натрия.

Очистка сточных вод состоит из следующих операций:

- раздельный сбор кислых и щелочных сточных вод;
- отделение взвешенных углеводородов методом механического отстоя в отстойнике;
- периодического (1 раз в сутки) выдавливания углеводородной пленки из резервуара в течение 5-15 мин.;
- совместная отпарка углеводородов из кислых и щелочных сточных вод в отпарной колонне;
- нейтрализация сточных вод 6-10% раствором NaOH. [15]

Кислые химически загрязненные воды из скруббера и из узла обработки алкилата поступают в емкость-хранилище. Периодически, по мере накопления химически загрязненных стоков в подземных емкостях их откачивают в другие емкости с помощью насосов. [16]

Насос оснащен схемой защиты, осуществляющей отключение его электродвигателя и запрет пуска, при минимальном давлении в трубопроводе нагнетания – $3,3 \text{ кгс/см}^2$;

Так же, насос оснащен схемами защиты, осуществляющими отключение его электродвигателя и запрет пуска, при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – $1,8 \text{ кгс/см}^2$;
- максимальное давление в бачке затворной жидкости – $2,5 \text{ кгс/см}^2$;
- максимальная температура подшипников – 70°C ;
- минимальный уровень затворной жидкости в бачке – $0,06 \text{ м}$.

Световая и звуковая сигнализация при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – $1,8 \text{ кгс/см}^2$;
- максимальное давление в бачке затворной жидкости – $2,5 \text{ кгс/см}^2$;
- минимальное давление в бачке затворной жидкости – $1,0 \text{ кгс/см}^2$;
- минимальный уровень затворной жидкости в бачке – $0,06 \text{ м}$;
- максимальная температура подшипников – 65°C ;

- максимальная температура подшипников – 70 °С .

Емкости делятся перегородками на три отсека, в среднем отсеке происходит сбор и отстой химически загрязненной воды от углеводородов. Два других отсека емкости служат для раздельного сбора отстоявшихся углеводородов и химически загрязненной воды. [17]

Углеводороды из углеводородного отсека насосом периодически откачиваются через смеситель, где нейтрализуются щелочью, в отстойник.

Насос оснащен схемами защиты, осуществляющими отключение его электродвигателя и запрет пуска, при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – 1,5 кгс/см²;
- максимальное давление в бачке затворной жидкости – 2,5 кгс/см²;
- максимальная температура подшипников – 70 °С ;
- минимальный уровень затворной жидкости в бачке – 0,06 м.

Световая и звуковая сигнализация при следующих отклонениях рабочих параметров от нормы:

- минимальное давление в трубопроводе нагнетания – 1,5 кгс/см²;
- максимальное давление в бачке затворной жидкости – 2,5 кгс/см²;
- минимальное давление в бачке затворной жидкости – 2,0 кгс/см²;
- минимальный уровень затворной жидкости в бачке – 0,06 м ;
- максимальная температура подшипников – 65 °С ;
- максимальная температура подшипников – 70 °С .

Кислая химически загрязненная вода, содержащая углеводороды, насосом из водного отсека емкости подается в колонну, которая предназначена для отпарки углеводородов из химически загрязненной воды.

Режим работы колонны:

- температура куба - 95-110⁰С,
- давление в кубе - 0,04-0,5 кгс/см².

В куб колонны подается острый пар Р-1,5 кгс/см². Расход пара в колонну поддерживается постоянным.

Пары углеводородов с верха колонны поступают в конденсатор, охлаждаемые оборотной водой. Отдувка после конденсатора поступает в скруббер. [18]

Конденсат из конденсаторов поступает в отстойный отсек емкости.

Кислая отпаренная вода из куба колонны поступает в холодильник, где охлаждается до температуры 40°C оборотной водой и направляется в емкость-отстойник, которая подогревается при помощи наружного змеевика.

Частичная нейтрализация кислой химически загрязненной воды осуществляется в емкостях-хранения за счет смешивания кислых и щелочных стоков.

Отпаренная вода из сборника откачивается в смеситель, где уровень в поддерживается постоянным САР.

Для полной нейтрализации кислой отпаренной воды в смеситель подается 6-10% раствор едкого натрия.

После нейтрализации отпаренная химически загрязненная вода отправляется в сеть химически загрязненных сточных вод и далее на БОС.

Едкий натр (6-10% раствор) для производства этилбензола поступает из цеха Химического завода по трубопроводу в резервуары. [19]

Слив использованного масла при подготовке насосного оборудования в ремонт, освобождение масляных емкостей при подготовке в ремонт или обследовании, производится в трап подземной емкости с последующей переработкой в отделении локальной очистки сточных вод и откачкой ее на разбавление смолы КОРС. [20]

3. Построение гидродинамической модели смесительного устройства

3.1. Постановка задачи исследования

Основной актуальной проблемой, возникающей при эксплуатации установок алкилирования бензола, использующих в качестве катализатора хлорид алюминия, является образование большого количества катионов алюминия, загрязняющих сточные воды. Концентрация катионов алюминия в сточных водах составляет 5–15 г/дм³ при норме 0,4 мг/дм³.

Решением данной проблемы является снижение концентрации катионов алюминия в сточных водах путем реконструкции оборудования с целью интенсификации процесса смешения, которое приведет, в свою очередь, к более эффективному протеканию реакции алкилирования и снижению расхода катализаторного комплекса.

Увеличением выхода продукта после алкилирования является интенсификация процесса смешения, которую можно повысить путем реконструкции смесительного оборудования.

Если первоначально, до реконструкции, свежий и регенерированный кат. комплексы смешивались в реакторе, установленном перед реактором, то после реконструкции смешивание происходило в выносном смесителе, оборудованным новыми металлическими стержнями, установленными непосредственно в камере смешения по ходу движения потоков. Также в смеситель, помимо кат. комплекса, подается этилен.

Расчеты на моделях показателей процесса и анализ имеющихся экспериментальных данных показали, что после установления смесительной аппаратуры процесс алкилирования интенсифицировался, о чем косвенно можно судить по увеличению температуры выхода из реактора в силу экзотермического эффекта.

3.2. Создание гидродинамической модели смесителя алкилирования

Процесс создания гидродинамической модели состоит из нескольких этапов, которые выполняются с использованием различного программного обеспечения.

Первый этап – подготовительный. На нем формируется начальная геометрия модели, формулируются физико-химические условия, определяется геометрия, задаются начальные и граничные условия дифференциальных уравнений.

Следующий этап – расчет. На данном этапе, после задания всех свойств модели, машина производит численные расчеты основных уравнений с точки зрения базовых физических параметров (температура, распределение скоростей потока, давление, плотность и т.д.)

Анализ результатов. Результаты решения программа выдает в виде графиков, таблиц, а также контурных/вектор схем, привязанных к исходной модели.

С помощью программного обеспечения Comsol Multiphysics, была создана геометрия смесительного элемента фирмы Sulzer (рисунок 2, 3).



Рисунок 2 – Смесительный элемент Sulzer. Вид сбоку

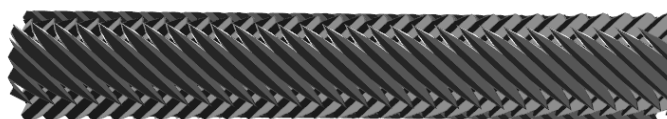


Рисунок 3 – Смесительный элемент Sulzer. Вид сверху

А также создана модель смесительного устройства, в которую устанавливаются данные элементы.

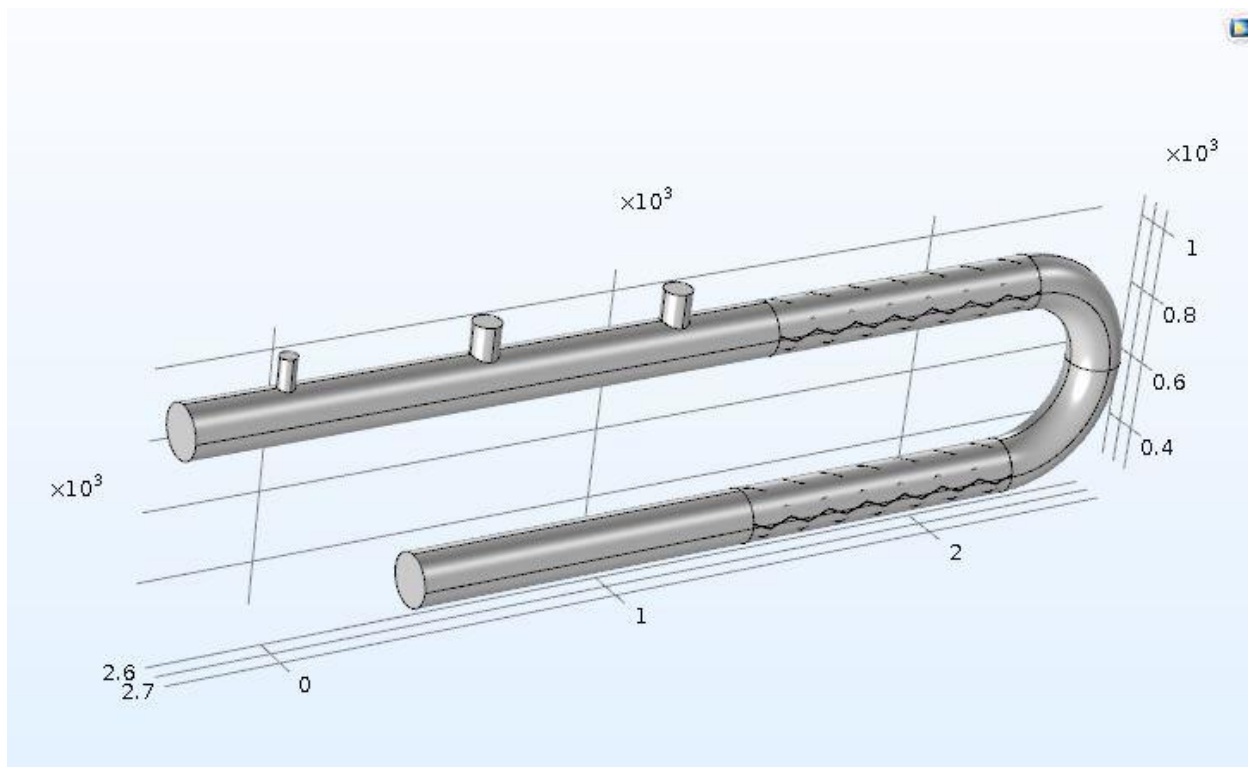


Рисунок 4 – Модель участка смесителя

Конструктивные параметры смесительной камеры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Конструкционные параметры смесителя

Параметр	Значение
Длина трубы, м	2
Диаметр трубы, м	0,15
Диаметр патрубка для ввода бензола, м	0,08
Диаметр патрубка для ввода возвратного катализаторного комплекса, м	0,08
Диаметр патрубка для ввода свежего	0,05

катализаторного комплекса, м	
Диаметр смесительного элемента, м	0,15

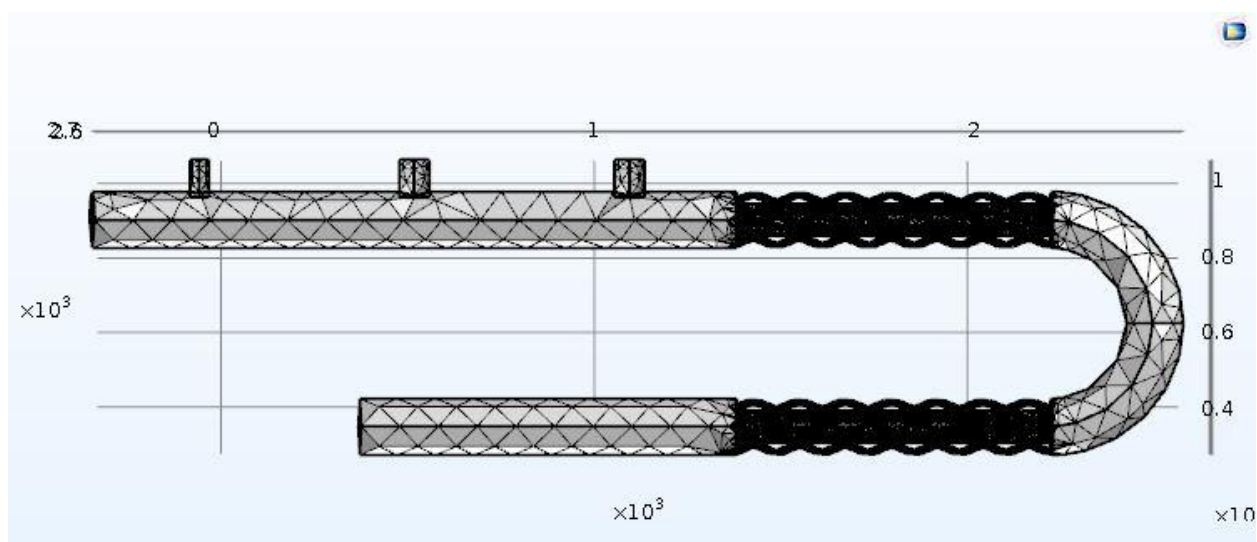


Рисунок 5 – Модель смесителя в продольном сечении

3.2.1. Генерация расчетной сетки

Дифференциальные уравнения аппроксимируются на расчетной сетке в предположении, что каждая ячейка – конечный объем, в котором скорости изменения физических величин сбалансированы потоками этих величин через грани ячейки [21].

Формирование расчетной сетки происходило в автоматическом режиме. В программном обеспечении Comsol Multiphysics существует функция автоматического создания сетки, необходимо только задать степень разбиения (от сверхточного до очень грубого).

В результате была сгенерирована расчетная сетка из 85479 ячеек. Модель со сгенерированной расчетной сеткой представлена на рис. 6.

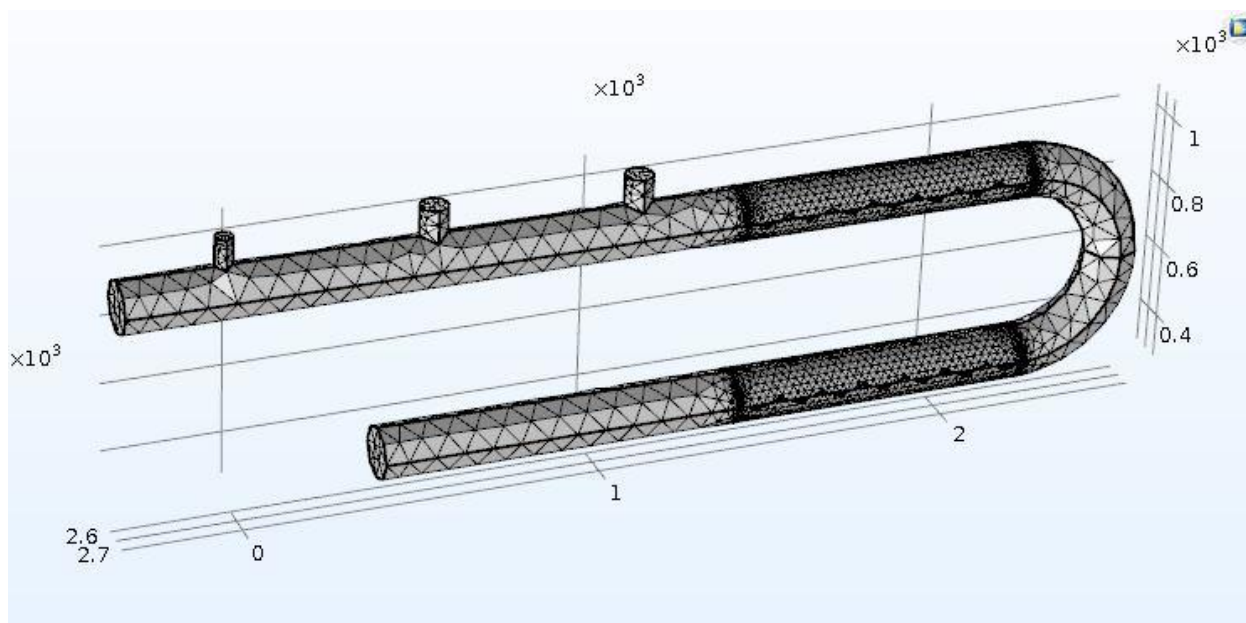


Рисунок 6 – Генерация расчетной сетки

3.3. Проведение расчетов и результаты исследования

Целью работы являлось определение, какой из патрубков целесообразнее использовать для ввода бензола, а какой - для ввода катализатора. Изначально предполагалось следующее расположение патрубков по ходу движения этилена: 50 мм, 80 мм, 80 мм. В первый патрубок подается свежий кат. комплекс, во второй – бензол, и в третий - возвратный кат. комплекс. Схема расположения патрубков представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Схема расположения патрубков

Расчеты показали, что такое расположение патрубков, и такой вариант подачи реагентов не желателен, поскольку на выходе из трубы, объемная доля этилена варьируется в диапазоне 0.87-0.92. Из полученного профиля наблюдается неравномерное распределение фаз, что говорит о том, что перемешивание компонентов прошло не эффективно (рис. 8).

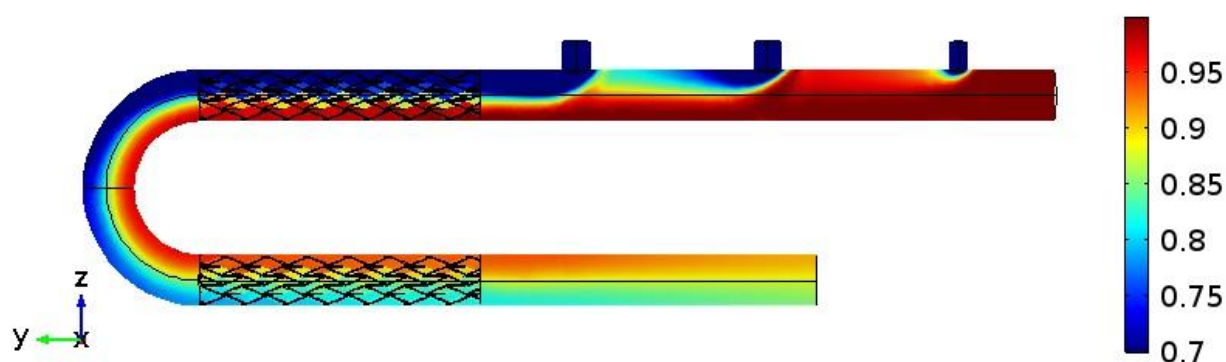


Рисунок 8 – Объемная доля этилена при подаче бензола во второй по ходу этилена патрубок

На рисунке 9 изображен профиль скоростей потоков и изоповерхность объемной доли этилена.

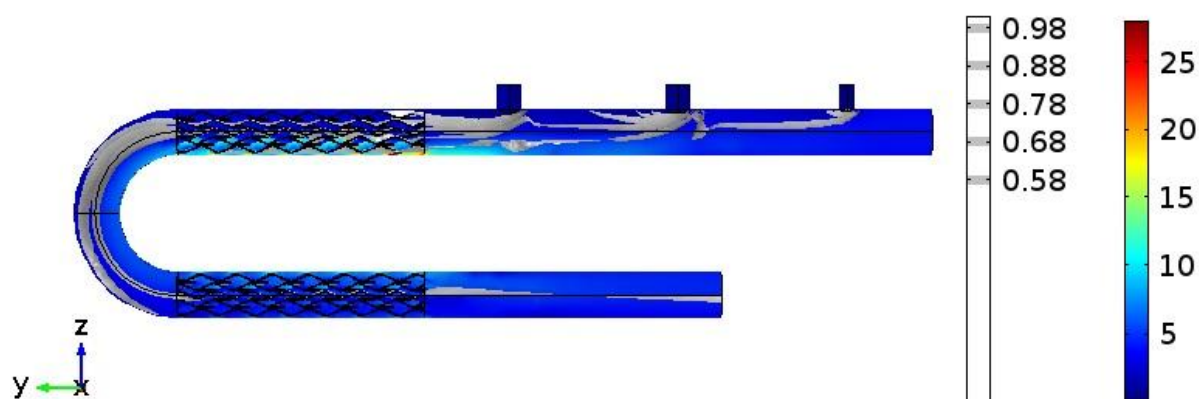


Рисунок 9 – Профиль скоростей (м/с). Изоповерхность: объемная доля этилена

На рисунке 10 изображен профиль концентрации катализатора. После прохождения смесительных устройств «Sulzer» выходная концентрация AlCl_3 не изменилась и составляет 140 моль/м^3 . Распределение к выходу из камеры по диаметру равномерное.

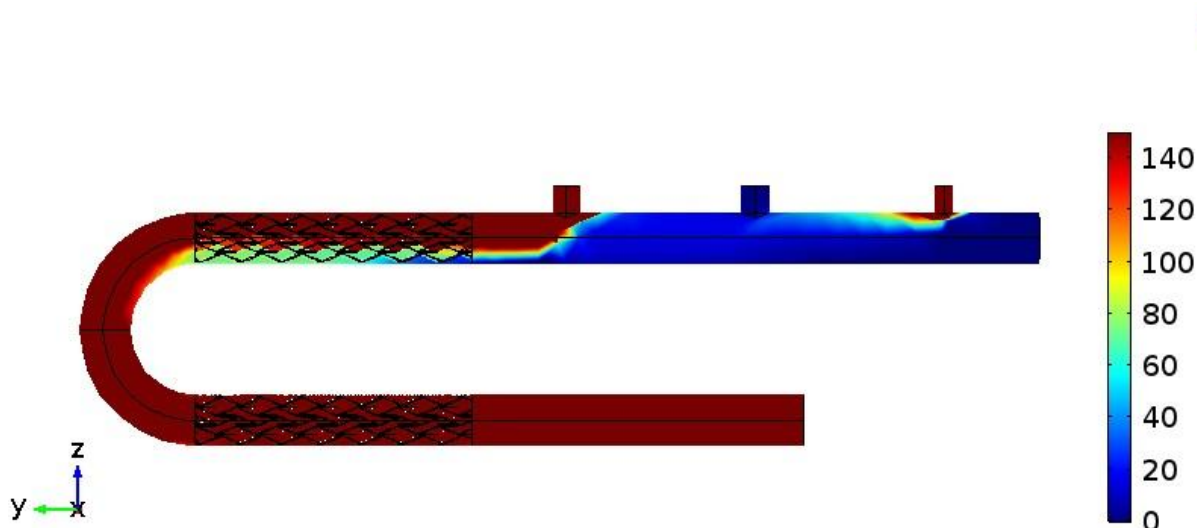


Рисунок 10 – Профиль концентраций катализатора AlCl_3

3.3.1. Модернизация смесительной аппаратуры

Тогда в качестве модернизации было предложено изменить расположение патрубков. Диаметр первого по ходу этилена патрубка было предложено изменить и сделать диаметр равный 80 мм, а второй и третий сделать соответственно по 80 мм и 50 мм.

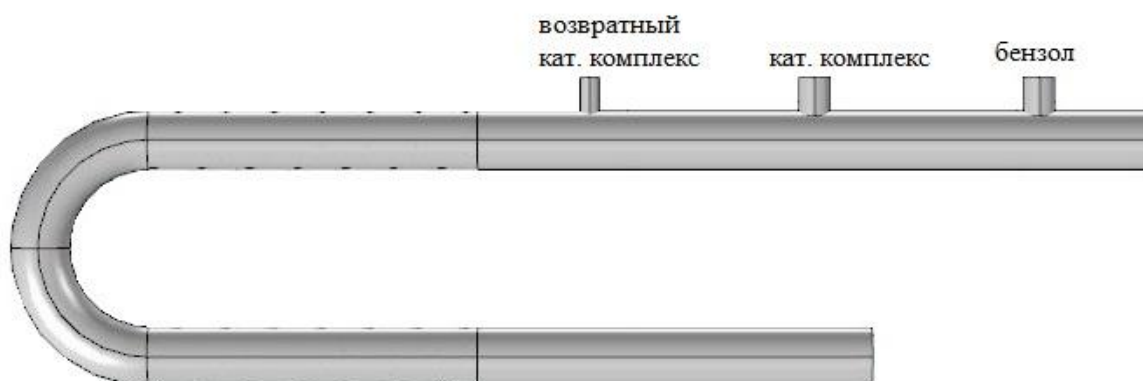


Рисунок 11 – Схема расположения патрубков после модернизации

Как видно из рисунка 12 после модернизации патрубков профиль объемной доли этилена на выходе из трубы имеет меньшее расслоение (объемная доля этилена равна 0,87). Следовательно, можно судить об увеличении качества перемешивания, т.к. дисперсия значений объемной доли этилена значительно меньше, чем до модернизации.

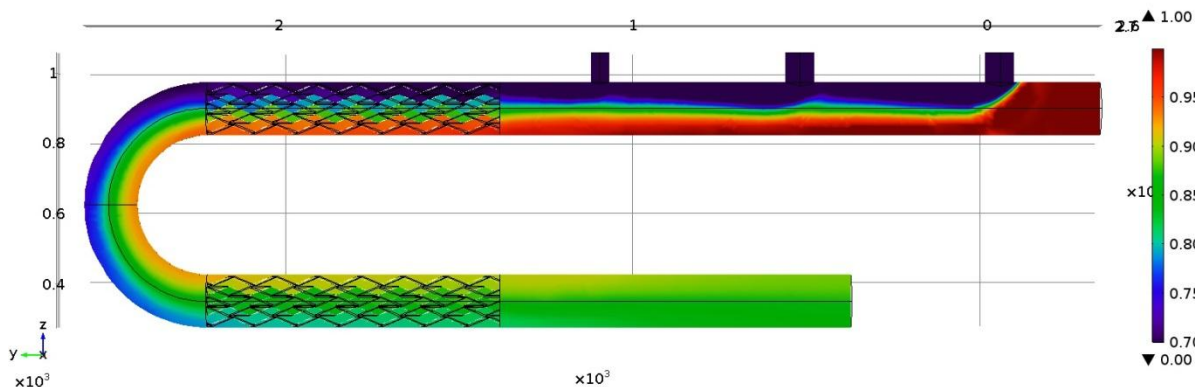


Рисунок 12 – Объемная доля этилена после изменения расположения патрубков

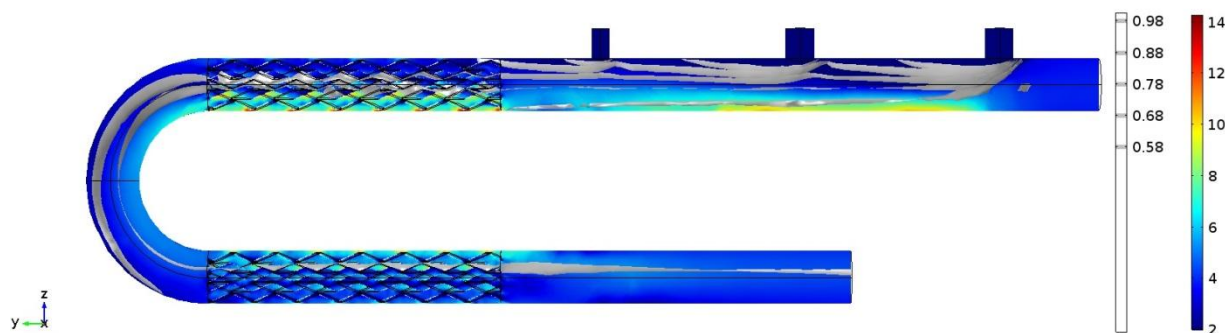


Рисунок 13 – Профиль скоростей (м/с). Изоповерхность: объемная доля этилена

На рисунке 14 показан профиль распределения концентрации катализатора. После прохождения смесительных элементов концентрация на выходе порядка 100 моль/м³. Расход катализатора – 8000 кг/ч. Был предложен вариант с уменьшением расхода катализатора до 6000 кг/ч, чтобы уменьшить количество катионов алюминия, попадающих в сточные воды после процесса алкилирования.

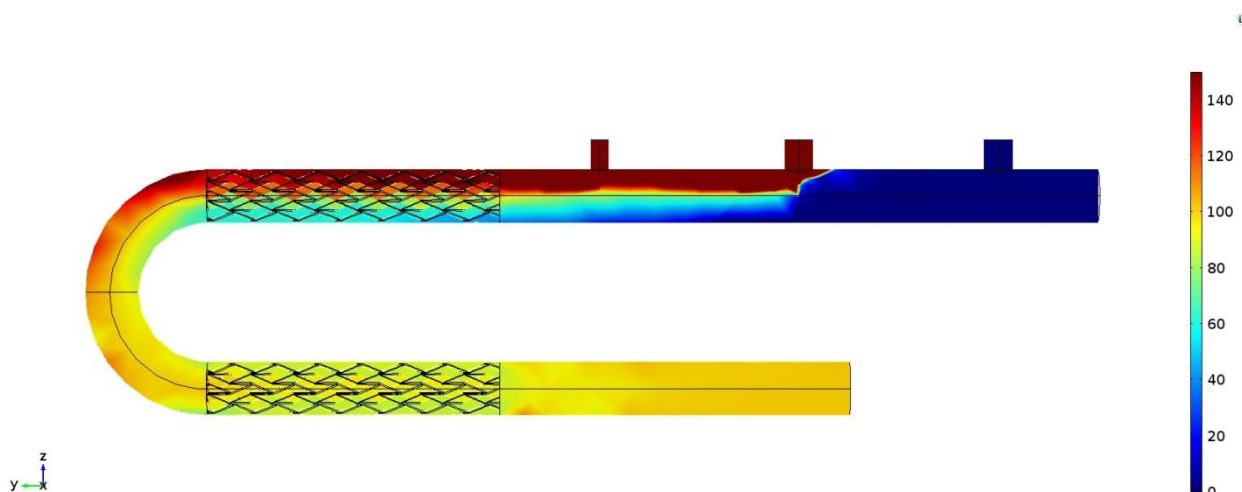


Рисунок 14 – Профиль концентраций катализатора AlCl_3

3.3.2. Уменьшение расхода катализатора

Поскольку основной проблемой, возникающей при эксплуатации установок алкилирования, использующих в качестве катализатора AlCl_3 , является образование большого количества катионов алюминия, загрязняющих сточные воды, то целесообразно уменьшить использование катализатора. Вследствие уменьшения расхода катализатора до 6000 кг/ч были достигнуты следующие результаты.

Концентрация катализатора на выходе составляет около 80 моль/м³ (рис. 15). Из рисунка 16 видно, что профиль распределения объемной доли этилена по сечению аппарата не претерпевает серьезных изменений. Объемная доля этилена на выходе из аппарата составила 0,88.

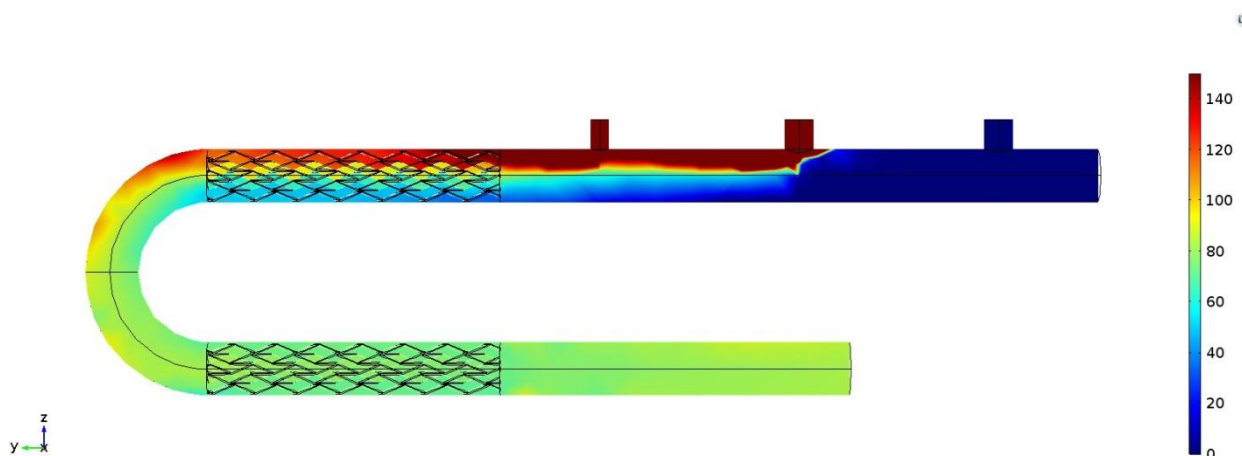


Рисунок 15 – Концентрация AlCl_3 (моль/м³)

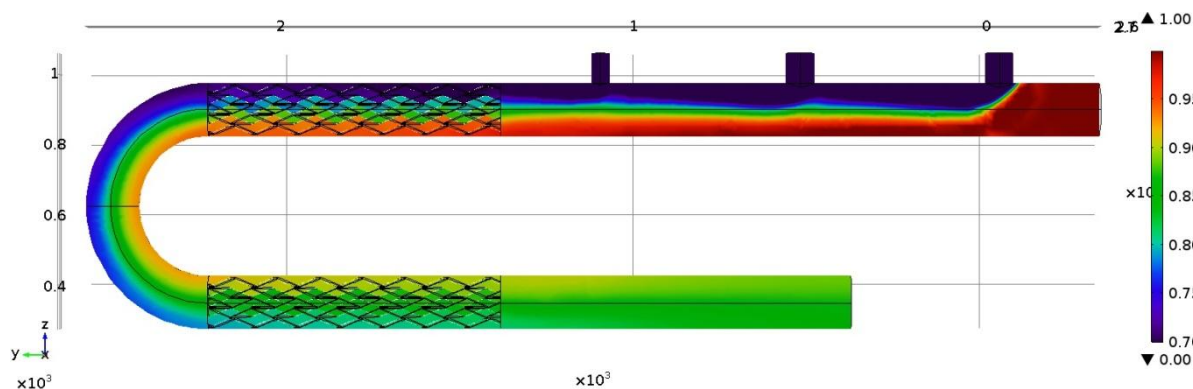


Рисунок 16 – Объемная доля этилена

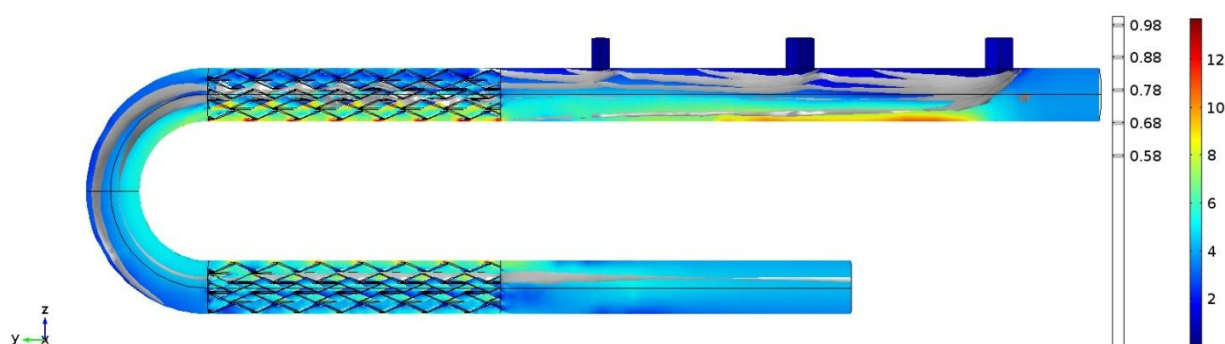


Рисунок 17 – Профиль скоростей (м/с). Исоповерхность: объемная доля этилена

На графике, изображенном на рисунке 18, отображена зависимость объемной доли этилена в зависимости от длины смесителя. Время – две секунды, шаг – 0.2 секунды. Полное и оптимальное время прохождения всей длины смесителя потоками равняется двум секундам. При времени прохождения всей длины смесителя равном 1 секунде объемная доля этилена высока (0,92), что может свидетельствовать о невысокой эффективности смешения всех потоков. Однако при времени прохождения потоками смесителя равном 2 секундам наблюдается снижение объемной доли этилена до значения 0,88, соответствующее результатам изменения выбора патрубков для подачи сырья, т.е. после модернизации.

В дальнейшем, с ростом времени, значение объемной доли не изменяется, и останется на уровне 0,88, что говорит об установившемся соотношении бензол: катализаторный комплекс: этилен.

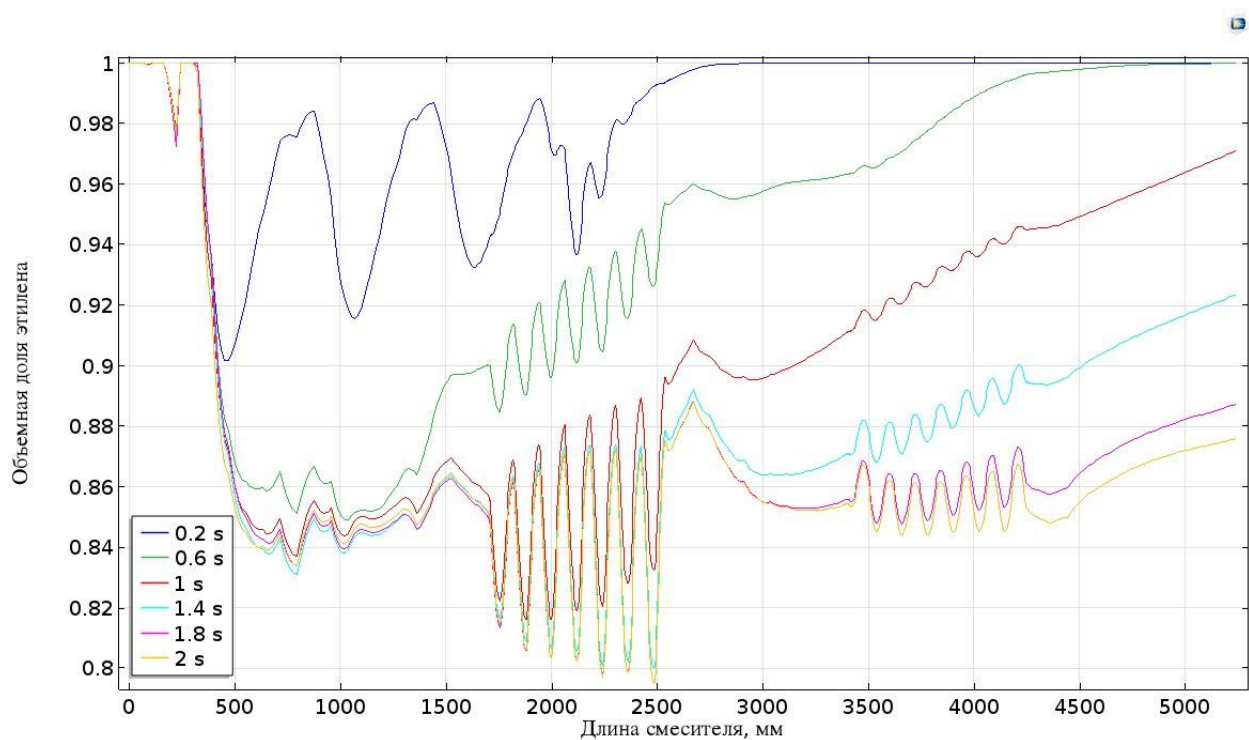


Рисунок 18 – Зависимость объемной доли этилена от длины смесителя

По полученным результатам видно, что модернизация смесителя, а именно, установка дополнительного смесительного оборудования, изменение расположения патрубков подачи сырья, интенсифицировала процесс смешения сырья. По рисунку 16 можно видеть, что профиль объемной доли этилена имеет меньшую дисперсию по диаметру трубы, что говорит об увеличении качества перемешивания.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Этилбензол широко используется в нефтехимической промышленности в качестве промежуточного продукта при получении стирола, сырья для производства полистирола, АБС – пластиков и синтетических каучуков. В настоящее время мощность мирового производства этилбензола достигает 35 млн. тонн в год. В России насчитывается 4 продуцента $C_6H_5CH_2CH_3$: ОАО «Нижекамскнефтехим», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ЗАО «Сибур – Химпром» и ОАО «Ангарский завод полимеров». Их общая производительность составляет 849 тыс. тонн в год, т.е. 2,4% мировой мощности. По итогам прошлых лет российские нефтехимические компании произвели 556 тыс. тонн этилбензола, что на 14,9% меньше, чем в 2008 году. Однако это временный спад. Учитывая рост спроса на полистирол и бутадиен-стирольные каучуки, в ближайшие несколько лет производство этого продукта будет увеличиваться на 5 – 7% в год. [21]

Перевод существующих установок алкилирования на современные твердые катализаторы зачастую оказывается экономически нецелесообразным из-за больших затрат на реконструкцию производства. Поэтому в настоящее время перед нефтеперерабатывающими заводами остро стоит проблема повышения эффективности действующих производств алкилатов, в том числе и производства этилбензола с использованием в качестве катализатора хлорида алюминия. Оценить эффективность того или иного варианта модернизации существующего производства до воплощения какого-либо рационализаторского предложения в жизнь достаточно сложно, зачастую просто невозможно. Для этих целей применим метод математического моделирования. Вместе с тем, модель промышленного реактора должна быть построена на физико – химической основе, только в этом случае она позволяет с высокой точностью прогнозировать поведение

исследуемой системы при изменении технологического режима или состава сырья, а также проводить необходимое количество исследований без вмешательства в работу установки.

4.1. Расчет капитальных затрат на новое оборудование

$$K = C_o + C_m + C_{тр}$$

где C_o – суммарная стоимость оборудования, руб;

C_m – стоимость монтажных работ, руб;

$C_{тр}$ – транспортные расходы, руб.

$$K = 39707955,4 + 2975000 + 2975000 = 45657955,4 \text{ руб} = 45,66 \text{ млн.руб.}$$

4.2. Расчет дополнительных затрат на новое оборудование

$$I_o^{\text{год}} = I_a + I_p + I_{пр}$$

где I_a – издержки на амортизацию, руб;

I_p – издержки на ремонт, руб;

$I_{пр}$ – прочие издержки (0,5 – 1% от стоимости оборудования), руб.

$$I_a = H_a \cdot K / 100\%$$

где H_a – норма амортизации;

$$H_a = 100\% / T_{сл}$$

где $T_{сл}$ – нормативный срок службы оборудования;

$$I_p = \gamma \cdot I_a$$

где γ – коэффициент (10% от амортизации);

Издержки на амортизацию:

$$H_a = 100\% / 15 = 6,67\%$$

$$I_a = 6,67\% \cdot 45,66 / 100\% = 3,044 \text{ млн.руб}$$

Издержки на ремонт:

$$I_p = 0,1 \cdot 3,05 = 0,305 \text{ млн.руб}$$

Прочие издержки:

$$I_{пр} = 0,01 \cdot (540000 + 179000) \cdot 50,18 = 0,36 \text{ млн.руб}$$

Суммарные годовые издержки:

$$I_o^{\text{год}} = 3,05 + 0,305 + 0,36 = 3,715 \text{ млн.руб}$$

Среднегодовая мощность производства этилбензола – 35,6 тыс. тонн в год.

Расходная норма по пару 40 кгс/см^2 - 0,86 Гкал на 1 тонну продукции.

Расходная норма по пару 20 кгс/см^2 - 0,62 Гкал на 1 тонну продукции

Стоимость поставляемого с ТЭЦ пара 20 кгс/см^2 и 40 кгс/см^2 с учетом его транспортировки составляет 1098,03 руб. за 1 Гкал.

Стоимость возвращаемого конденсата – 239,05 руб/Гкал.

Стоимость ХОВ на восполнение – 35,14 руб/т

Объем ХОВ на восполнение до модернизации – 4,224 т/час

Объем ХОВ на восполнение после модернизации – 3,508 т/час

4.2.1. До модернизации:

Общий расход пара:

$$Q_{\text{общ.}} = Q_{20} + Q_{40} = 2,127 + 2,593 = 4,72 \text{ Гкал/час}$$

Общий расход пара в год:

$$Q_{\text{общ. год}} = 4,72 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 11 = 37382,4 \text{ Гкал/год}$$

Годовые затраты на пар:

$$З = Q_{\text{общ. год}} \cdot Ц = 37382,40 \cdot 1098,03 = 41,047 \text{ млн. руб/год}$$

Годовые затраты на ХОВ на восполнение:

$$З = Q_{\text{ХОВ}} \cdot Ц = 4,224 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 11 \cdot 35,14 = 1,176 \text{ млн. руб/год}$$

Выдача конденсата:

$$З = Q_{\text{конд.}} \cdot Ц = 0,318 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 11 \cdot -239,05 = (-0,602) \text{ млн. руб/год}$$

4.2.2. После модернизации:

Общий расход пара:

$$Q_{\text{общ. М}} = Q_{20} = 3,917 \text{ Гкал/час}$$

Общий расход пара в год:

$$Q_{\text{общ. М год}} = 3,917 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 11 = 31022,64 \text{ Гкал/год}$$

Годовые затраты на пар:

$$З_{\text{М}} = Q_{\text{общ. М год}} \cdot Ц = 31022,64 \cdot 1098,03 = 34,064 \text{ млн. руб/год}$$

Годовые затраты на ХОВ на восполнение:

$$З = Q_{\text{ХОВ}} \cdot Ц = 3,508 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 11 \cdot 35,14 = 0,976 \text{ млн. руб/год}$$

Выдача конденсата:

$$З = Q_{\text{конд.}} \cdot Ц = 0,282 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 11 \cdot (-239,05) = (-0,534) \text{ млн. руб/год}$$

На основании полученных данных рассчитана эффективность инвестиционных затрат на реализацию проекта “Энергосберегающая модернизация ректификационной установки производства этилбензола ОАО “АЗП” на 10 лет.

4.3. Чистый дисконтированный доход, сроки окупаемости

При расчете принималась ставка дисконта 10%, обязательные платежи и налоги рассчитывались в соответствии с действующим законодательством, льготы по налогам не учитывались.

Расчет чистого дисконтированного дохода состоит из следующих шагов:

1. В графе «B7» отображены первоначальные инвестиционные затраты = 45 657 955,00 руб.;
2. В колонке «C» отражаются все будущие планируемые денежные поступления по проекту;
3. В колонке «D» записывается все будущие денежные расходы;
4. Денежный поток (колонка «E»). $E8 = C8 - D8$;
5. Расчет дисконтированного денежного потока. $F8 = E8 / (1 + \$C\$5)^{A8}$
6. Расчет дисконтированного дохода (NPV) минус первоначальные инвестиционные затраты (IC). $F19 = \text{СУММ}(F8:F16) - B7$

Таблица 3 – Эффективность инвестиционных затрат

Чистый дисконтированный доход (Net Present Value)					
Ставка дисконтирования= 10%					
Период (год)	Первоначальные затраты	Денежный доход	Денежный расход	Денежный поток	Дисконтированный денежный поток
0	45 657 955,00 ₽				
1	-	50 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	10 000 000,00 ₽	9 090 909,09 ₽
2	-	45 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	5 000 000,00 ₽	4 132 231,40 ₽
3	-	52 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	12 000 000,00 ₽	9 015 777,61 ₽
4	-	50 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	10 000 000,00 ₽	6 830 134,55 ₽
5	-	47 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	7 000 000,00 ₽	4 346 449,26 ₽
6	-	51 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	11 000 000,00 ₽	6 209 213,23 ₽
7	-	49 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	9 000 000,00 ₽	4 618 423,06 ₽
8	-	50 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	10 000 000,00 ₽	4 665 073,80 ₽
9	-	53 000 000,00 ₽	40 000 000,00 ₽	13 000 000,00 ₽	5 513 269,04 ₽
				NPV=	8 763 526,06 ₽

Таблица 4 – Эффективность инвестиционных затрат:

Чистый дисконтированный доход (ЧДД), тыс. руб.	8 763 526,06
Внутренняя норма доходности (ВНД), %	17,52%
Срок окупаемости, лет	5,2

Суть определения чистой современной стоимости состоит в том, чтобы найти разницу между затратами, включая инвестиционные, и будущими доходами, выраженную в скорректированной по времени денежной величине. При заданной норме дисконта можно определить современную величину всех оттоков и притоков денежных средств в течение экономической жизни проекта, сопоставить их друг с другом.

Сроки окупаемости выражаются в годах и отражают срок окупаемости инвестиционных затрат от начала осуществления проекта.

Простой срок окупаемости определяется на основании чистых денежных потоков нарастающим итогом. Срок окупаемости располагается в интервале, в котором величина чистого денежного потока нарастающим итогом меняет свой знак с «минуса» на «плюс».

Согласно расчетам простой срок окупаемости данного проекта равен 5,2 лет.

Был проведен анализ чувствительности проекта по одному показателю – капитальные вложения.

Таблица 5 – Анализ чувствительности показателей эффективности проекта

Показатель	Базовый вариант	Кап. вложения	
		+10%	-10%
Чистый дисконтированный доход (ЧДД), тыс. руб.	8763526,0 3	9639878,6 6	7887173,4 5
Внутренняя норма доходности (ВНД), %	17,52%	20,50%	26,4%
Срок окупаемости, лет	5,2	4,7	5,9

Анализ чувствительности показывает, что проект чувствителен к изменениям капитальных затрат. Чтобы минимизировать риск был рассмотрен вариант приобретения необходимого оборудования у других производителей. Производством аналогичного оборудования занимается компания Koch-Glitsch Schweiz GMBH.

5. Социальная ответственность

5.1. Характеристика факторов рабочего места

При выполнении ВКР полностью вся работа выполнялась в компьютерном классе.

Проанализируем факторы рабочей зоны на предмет выявления их вредных проявлений. В данном исследовании к факторам рабочей зоны относятся производственные метеоусловия, электромагнитные поля, производственное освещение, шумы, вибрации.

Микроклимат производственных помещений – это метеорологические условия внутренней среды этих помещений, определяющиеся такими факторами, как температура, влажность и скорость движения воздуха, температура окружающих поверхностей.

Микроклимат влияет на процесс переноса тепла и тип работы. Метеорологические условия определяются температурой воздуха, влажностью и скоростью движения воздуха, интенсивностью теплового излучения. Влияние на человека неблагоприятных метеорологических условий в течение длительного времени в резкой форме ухудшают его состояние здоровья, снижают продуктивность и приводят к болезням. Повышенная температура воздуха приводит к скорой утомляемости служащего, также приводит к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Пониженная температура окружающей среды работника может вызвать охлаждение организма, вызвать простуду или обморожение[22].

Влажность воздуха сильно воздействует на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность и повышенная температура воздуха приводит к перегреванию организма, а при пониженной температуре повышенная влажность увеличивает теплопередачу с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению организма. Пониженная влажность способствует пересыханию слизистых оболочек служащего.

В помещении, где находится компьютер средняя температура воздуха 22 °С, относительная влажность воздуха 55%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с. Ориентируясь на оптимальные и допустимые показатели микроклимата на рабочих местах [23], можно сделать вывод о том, что метеоусловия являются оптимальными, то есть гарантируют поддержание нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакции терморегуляции и производят условия для повышенной степени работоспособности.

Спектр электромагнитного излучения (источник – компьютер) естественного и техногенного происхождения, воздействующий на человека в быту и в производственной обстановке, обладает интервалом волн от одной тысяч километров (переменный ток) до одной триллионной части миллиметра (космические энергетические лучи). Имеется два источника электромагнитного излучения: монитор и системный блок.

Продолжительное действие электромагнитного поля на организм приводит к повреждению функционального состояния нервной и сердечнососудистой систем. Что проявляется в высоком утомлении, понижении работоспособности, изменении давления и пульса.

Уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах нормы допустимых уровней напряженности электрических полей зависят от времени нахождения служащего в рабочей зоне. Время приемлемого нахождения в контролируемой зоне в часах:

$T = 50/E - 2$. Производство в условиях облучения электрическим полем с напряженностью 20–25 кВ/м продолжается не более 10 минут. При напряженности не выше 5 кВ/м пребывание людей в рабочей зоне допускается в течение 8 часов.

Характерные требования к помещениям, где используются компьютеры:

- Площадь на одно рабочее место должна быть не менее 6 м², а объем – не менее 20 м³;

- Не допускается расположение рабочих мест в подвальных помещениях;
- Для повышения влажности воздуха в помещениях с компьютерами следует применять увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые дистиллированной или прокипяченной питьевой водой;
- До и после работы за компьютером, помещение необходимо проветривать в течении 5-10 минут.

Особо важная область оптического спектра электромагнитных излучений – видимый свет (излучение с длиной волны от 0,38–0,4 до 0,75–0,78 мкм) [22]. Свет снабжает зрительное восприятие, которое дает около 90 % информации об окружающей среде, воздействует на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на дееспособность и здоровье человека. Скудное освещение рабочего места осложняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности приводят к апатии и сонливости, а иногда вызывают развитие чувства тревоги. При длительной работе в условиях минимального освещения снижениется интенсивность обмена веществ в организме и ослабляется его реактивность. Так же, нежелательно пребывание в комнате с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Работа, связанная с документами требует хорошего освещения. Слишком яркое освещение уменьшает зрительные функции, способствует перевозбуждению нервной системы, снижает дееспособность, нарушает механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Гигиеническое нормирование искусственного и естественного освещения. Нормируемыми параметрами для систем искусственного освещения являются: величина минимальной освещенности $L_{дон}$, допустимая яркость в

поле зрения L_{don} , а также показатель ослепленности P и коэффициент пульсации K_n (СНиП 23–05–95) [22].

Шум лабораторной установки – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, возникающих при механических колебаниях в упругой среде (твердой, жидкой или газообразной). Длительное воздействие шума снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок в действиях рабочего, снижается производительность труда. Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая.

Органы слуха человека воспринимают звуковые колебания с частотой 16–25000 Гц. Колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм. Гигиенические нормативы шума определены ГОСТ 12.1.003 - 83* «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и СН 2.2.4/2.1 .8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий».

Для снижения шума в помещениях проводятся следующие основные мероприятия:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- установка глушителей шума;
- рациональное размещение оборудования.

Вибрация лабораторной установки – процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Вибрация по способу передачи телу человека подразделяется на общую (воздействие на все тело человека) и локальную (воздействие на отдельные части тела – руки). При воздействии общей вибрации наблюдаются нарушения сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы сосудов, изменения в вестибулярном

аппарате. Локальная вибрация, возникающая при работе с ручным механизированным инструментом (в данном случае это мышь), вызывает спазмы периферических сосудов, различные нервно – мышечные и кожно – суставные нарушения.

Частотный диапазон расстройств зрительных восприятий лежит между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок.

Для снижения вибрации используют следующие методы:

- виброизоляция;
- вибродемпфирование, под которым понимают превращение энергии механических колебаний в тепловую.

Важным для снижения опасного воздействия вибрации на организм человека является правильная организация труда и отдыха, постоянное медицинское наблюдение, лечебно – профилактические мероприятия.

5.2. Характеристика опасных факторов

Немаловажными являются вопросы экологической безопасности производства и применения этилбензола, бензола, этилена и других химических реагентов, поскольку, как и другие продукты основного органического синтеза, они токсичны и могут неблагоприятно влиять на здоровье человека.

Основные характеристики взрыво-, пожароопасных и токсических свойств сырья, материалов и продуктов производства представлены в таблице 6 [24].

Таблица 6 – Характеристика свойств сырья, материалов и продуктов

Наименование сырья, материалов, реагентов, катализаторов, полуфабрикатов, готовой продукции, отходов производства	Класс опасности (ГОСТ 12.1.007)	Агрегатное состояние при нормальных условиях	Температура, °C			ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений ГН 2.2.5.1313-03, мг/м ³	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
			кипения	плавления	самовоспламенения		
Этилбензол	4	жидкость	136	-95	не ниже 420	50	Обладает общим токсическим действием. Вызывает поражение крови и кроветворных органов, раздражение слизистых оболочек
Бензол нефтяной	2	жидкость	80	5,5	562	15/5	Пары действуют наркотически, вредно влияют на нервную систему, оказывают раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки глаз.
Этилен	4	газ	-	-	не ниже 427	300 / 100	Действует наркотически. Сжиженный этилен при попадании на кожу может вызвать ожоги
Хлористый этил	4	газ	12,2	138,3	510	50	Токсичен, обладает слабым наркотическим действием.
Хлористый алюминий (по HCl)	2	твердое	-	-	-	5 (по HCl)	При попадании пыли хлористого алюминия и влаги на ткани действует обжигающе. Раздражает слизистые оболочки.

Также, кроме воздействия на организм токсичных химических веществ, существует угроза следующих производственных опасностей:

- возможность падения с высоты при обслуживании оборудования без использования стационарных средств (площадок, лестниц);
- поражение электрическим током при нарушении правил обслуживания электрооборудования, работающего под напряжением до 1000 Вольт;
- возможность взрыва и пожара при несоблюдении противопожарного режима;
- ожоги и травмирование ударной волной при загорании или взрыве углеводородной смеси при разуплотнении трубопроводов;
- возможность разрушения оборудования и травмирования персонала при нарушении правил эксплуатации оборудования, работающего под давлением;
- удушье – как результат несоблюдения правил работы с газообразным азотом;
- отравление парами щелочи, получение химического ожога, при разгерметизации фланцевых соединений трубопроводов, запорной арматуры, сальниковых уплотнений, разлива щелочи при аварийных ситуациях или при нарушении правил безопасности при обслуживании и ремонте оборудования и трубопроводов.

Все работники отделения должны допускаться к работе только после прохождения противопожарного инструктажа, а при изменении специфики работы проходить дополнительное обучение по предупреждению и тушению возможных пожаров в порядке, установленном на предприятии.

Для исключения возможности возникновения взрывов, пожаров, ожогов, отравлений или удушья персонала, загрязнения окружающей среды необходимо:

- соблюдение норм технологического режима;

- соблюдение требований промышленной безопасности при подготовке и проведению предупредительного и планового ремонта оборудования;
- обеспечение исправного состояния и бесперебойной работы контрольно-измерительных приборов, систем автоматизации, сигнализации и блокировок; системы производственной вентиляции и противопожарной защиты;
- обеспечение герметичности оборудования, трубопроводов, арматуры;
- наличие заземления электрооборудования, аппаратов и трубопроводов;
- осуществление подготовки в ремонт отдельных единиц оборудования в соответствии с требованиями нормативной документации;
- осуществление ежесменного контроля за состоянием оборудования и трубопроводов;
- проведение газоопасных и огневых работ, работ повышенной опасности в соответствии с требованиями промышленной безопасности и перечня газоопасных работ;

Кроме того, каждый работник должен использовать средства индивидуальной защиты, такие как костюм хлопчатобумажный для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий с маслостойкой пропиткой; ботинки кожаные с жестким подноском; перчатки с полимерным покрытием; каска защитная; подшлемник под каску; очки защитные; маска или полумаска со смешанными фильтрами.

Для защиты органов дыхания применяются следующие средства:

- воздушно-изолирующие противогазы марки «РА-90 Plus» фирмы «Dräger» [24] применяются в аварийных случаях, в случаях разливов, пропусков, проверки состояния оборудования в сильно загазованных помещениях и т.п.;
- шланговые противогазы марки ПШ-1, ПШ-2 применяются при проведении газоопасных работ (установка и снятие заглушек на

неподготовленном оборудовании, при работах внутри аппаратов, в колодцах, приемках, юбках ректификационных колонн и т.д.);

- фильтрующие противогазы индивидуальной защиты с коробкой марки "А", "БКФ" применяются для защиты органов дыхания при обслуживании и ремонте оборудования, если вредных газов в атмосфере не более 0,5% об., а кислорода не менее 18% об.

Все объекты предприятия оснащены автоматической системой звукового оповещения в случае возникновения внештатных ситуаций. Различают несколько типов звукового оповещения в зависимости от вида происшествия. Кроме того, каждый объект оснащен ручными пожарными извещателями. При возникновении опасных ситуаций, каждый сотрудник должен действовать в соответствии с технологическим регламентом, где прописан порядок действия в тех или иных ситуациях.

Также на предприятии, кроме охраны жизни и здоровья персонала, предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды. Так, например, проводится очистка и нейтрализация всех стоков завода, что сводит к минимуму попадание остатков кислот и щелочей в природу. Существуют как цеховые сооружения очистки сточных вод, так и общезаводские.

Кроме того, на каждом объекте проводится контроль содержания в воздухе паров вредных веществ и их соответствия ПДК. Проводятся мероприятия по предупреждению ситуаций, которые могут повлечь за собой выбросы вредных веществ в атмосферу.

Электробезопасность

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Электроустановки - установки, в которых производится, преобразуется, распределяется и потребляется электроэнергия; к ним также относятся установки, содержащие в себе источники электроэнергии (химические, гальванические).

Электротравма - травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Воздействие электротока на организм человека:

- биологическое –раздражение и возбуждение живых тканей организма. Вследствие этого наблюдаются судороги скелетных мышц, которые могут привести к остановке дыхания, спазму голосовых связок;
- электролитическое - электролиз (разложение) органических жидкостей, в том числе крови, существенно изменяющий функциональное состояние клеток;
- тепловое - ожоги отдельных участков тела, нагрев кровеносных сосудов, крови;
- механическое - расслоение и разрыв тканей.

Термические ожоги.

Термический ожог - воздействие на кожу сильно нагретых материалов.

Ситуации, которые могут привести к термическому ожогу:

- Работа с нагревательными приборами.
- Взаимодействие с химическими веществами.

Отравление.

Отравление - попадание в организм токсичного вещества.

Ситуации, которые могут привести к отравлению:

- Потребление пищи в лаборатории.

Со всеми новыми веществами следует обращаться очень осторожно, так как они могут оказаться сильно токсичными.

Работа с высокотоксичными веществами требует внимательности и осторожности.

Растворение брома в ацетоне или других кетонах. Реакция протекает очень активно после индукционного периода и приводит к сильно раздражающим (слезоточивым) бром кетонам.

Следует помнить, что растворение активных металлов (например, цинк) в достаточно концентрированной серной кислоте часто происходит с выделением сероводорода. Растворение любых металлов в азотной кислоте происходит с выделением окислов азота [25].

Противопожарная защита

В целях обеспечения надежности и безопасности работы, предусматривается ряд мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение технологического процесса:

- герметичность арматуры оборудования и трубопроводов;
- автоматический контроль технологического процесса со щита в операторной;
- закрытая система сбросов на факел и дренирования подтоварной воды, что позволяет предотвратить загазованность участка, тем самым уменьшить вероятность пожара и взрыва;
- система аварийного освобождения аппаратов и трубопроводов, а также освобождение их от продуктов перед ремонтом;
- оснащение процесса средствами противоаварийной защиты, предупреждающими об отклонениях от норм технологического режима, исключающими возможность выбросов продуктов через предохранительные клапаны;
- система продувки инертным газом и паром аппаратов и трубопроводов перед ремонтом и пуском в работу;
- к оборудованию, размещенному на открытой площадке, обеспечены подъезды пожарной техники, между парками выполнены противопожарные разрывы;
- наружное пожаротушение обеспечивается от системы пожарного водоснабжения;

- выполнена защита зданий, сооружений, аппаратов, оборудования и трубопроводов от вторичных проявлений молний и статического электричества;
- предотвращение взрывов в помещениях с нормальной средой, вследствие проникновения горючих газов и паров, обеспечивается приточными и вытяжными вентиляционными системами;
- резервуарные парки укомплектованы первичными средствами пожаротушения.

Средства пожаротушения

Основными средствами пожаротушения на химических заводах, производствах, в лабораториях являются огнетушители. Имеется несколько различных видов огнетушителей: стационарные и передвижные, углекислотные, воздушно-пенные, аэрозольные, жидкостные, химические пенные, порошковые.

Помимо огнетушителей, производства, лаборатории должны быть оснащены такими первичными средствами пожаротушения как вода, кошмы, асбестовые одеяла, порошок.

5.3. Охрана окружающей среды

В результате обработки алкилата и отработанного катализаторного комплекса водой образуются кислые и щелочные сточные воды. Кроме того, в процессе осушки бензола в ректификационной колонне и при работе с установками по очистке газа образуются нейтральные сточные воды. Переработка сточных вод производится с целью:

- очистки сточных вод от углеводородов путем отпарки;
- отмывки сточных вод от кислоты путем нейтрализации 6-10% раствором едкого натрия.

Очистка сточных вод состоит из следующих операций:

- отдельный сбор кислых и щелочных сточных вод;

- отделение взвешенных углеводов методом механического отстоя в отстойнике;
- периодического (1 раз в сутки) выдавливания углеводородной пленки из резервуара в течении 5-15 мин.;
- совместная отпарка углеводов из кислых и щелочных сточных вод в отпарной колонне;
- нейтрализация сточных вод 6-10% раствором NaOH.

5.4. Правовые вопросы обеспечения безопасности

При выполнении научно-исследовательской работы необходимо следовать требованиям трудового кодекса РФ.

Согласно [26] , необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Проект перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимо использовать средства индивидуальной защиты [27].

Во избежание несчастных случаев, следует проводить обучение и проверять знания работников [24].

Заключение

Разработанная гидродинамическая модель смесителя в совокупности с математической моделью реактора алкилирования позволит в дальнейшем проводить численные исследования по влиянию различных технологических параметров на эффективность процесса, а именно выход и состав этилбензола при изменении расхода, состава сырья и др. параметров. Кроме того, такая комбинированная модель может быть использована для расчета моделирования вариантов модернизации реакторного узла в технологии алкилирования при замене смесительного оборудования с целью интенсификации процесса.

Поскольку для гетерогенной химической реакции увеличение поверхности раздела означает наилучшее протекание реакции, то наиболее оптимальным вариантом будет равномерное распределение концентрации по сечению смесительного устройства. В исследуемом смесителе на основании проведенных гидродинамических расчетов предпочтительнее будет следующий вариант ввода реагентов: в первый патрубок диаметром 80 мм по ходу этилена подается бензол, во второй патрубок диаметром 80 мм планируется ввод возвратного кат. комплекса, и в третий патрубок диаметром 50 мм - свежий кат. комплекс. Обоснованием данного выбора является равномерный профиль распределения компонентов на выходе и по сечению аппарата.

Также, уменьшая расход катализатора с 8 т/ч до 6 т/ч, уменьшится количество катионов алюминия, попадающих в сточные воды. Было установлено, что при уменьшении расхода возвратного катализатора профиль распределения компонентов по сечению аппарата не претерпевает серьезных изменений, и после прохождения второго смесительного устройства устанавливается равномерное распределение компонентов по аппарату.

Список литературы

1. Алкилирование и трансалкилирование бензола. Пер. с англ. Под ред. О. Травкина, А. Имашева, М. Павлов – М: Lambert Academic Publishing, 2013. – 96с., ил.
2. Алкилирование бензола этиленом / Павлов М.Л., Басимова Р.А., Алябьев А.С. ООО «НТЦ Салаватнефтеоргсинтез», г. Салават / Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, №1, с. 470.
3. Берберов А. Б., Афонин Д. С., Борзаев Х. Х., Иванов Е. В., Гушин П. А. Алкилирование бензола этиленом // Баш. хим. ж.. 2014. №1.
4. Pat. US6060632 Process for producing ethylbenzene / Hiroshi Ishida, Yoshihito Itani, Yoshikazu Takamatsu // Issue date 09.05.2000
5. Технологическая инструкция по эксплуатации отделения алкилирования и приготовления катализаторного комплекса производства этилбензола цеха 126/127 ОАО «АЗП»
6. Байтимерова, А.И. Математическая модель каталитического процесса с переменным реакционным объемом в каскаде реакторов смешения / А.И. Байтимерова // Дифференциальные уравнение и смежные проблемы: тр. Междупар. Конф. – Уфа, 2008. – Т.3. – 320с., ил.
7. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: учеб.для вузов – 4-е изд., испр. / Н.С. Ахметов. – М.: Высшая школа, изд. центр Академия, 2001. – 743 с.: ил.
8. Тимофеев В.С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: учебное пособие для вузов / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 2003. – 536 с.

9. Травень В.Ф. Органическая химия: в 2 т: учеб.для вузов / В.Ф. Травень. – М.: НКЦ Академкнига, 2005. – 727 с.: ил. – Библиогр.: с. 704 – 708.
10. Технологический регламент производства этилбензола цеха 126/127 ОАО «АЗП»
11. ПАТ RU(11) 2410368 C07C2/66, C07C15/073, B01J29/40, 2011 // Способы алкилирования бензола этиленом и катализатор для его осуществления/ Мячин С.И., Басимова Р.А., Прокопенко А.В. и др; № 2410368; Заявлено 03.08.2009;Опубл 27.01.2011; НКИ 24 – 5 с.
12. ПАТ RU(05) 2261854 C07C2/66, 2005 // Способ алкилирования бензола этиленом / Рахимов Х.Х., Прокопенко А.В., Рогов М.Н. и др; № 2261854; Заявлено 13.05.2004;Опубл 10.10.2005; НКИ 24 – 5 с.
13. Пат RU(11) 2164895(13) C2, 2001 // Способ очистки сточных вод от соединений алюминия / Еганова Л.С., Карманов А.Н и др; № 2164895; Заявлено 21.06.1999; Опубл. 10.04.2001; НКИ 21 – 2001 – 5 с.
14. Пат RU(11) 2468997(13) C1, 2001 // Способ очистки сточных вод от ионов алюминия / Мазитов Леонид Асхатович; № 2468997; Заявлено 06.09.2011; Опубл. 07.12.2012; НКИ 24 – 4с.
15. Пат RU(11) 2472890(13) C1, 2001 // Способ получения фибриллированных целлюлозных волокон / Мазитов Леонид Асхатович; № 2472890; Заявлено 11.08.2011; НКИ 24 – 4с.
16. Пат Eu EP1266866 A1// Treatment of aluminium containing waste waters / Henrik Olsson, Anders Gylling et al.; № 2017225 A2l; Заявлено 4.06.2008; Опубл. 21.01.2009;
17. Ильин В.И. Разработка технологических решений по очистке промышленных сточных вод до предельно допустимых концентраций // Экология промышленного производства. – 2011. - № 1. – С. 66–68.

18. Зосин А.П., Приймак Т.И., Маслобоев В.А., Сулименко Л.П., Алеев Н.Г. Разработка режимов очистки технологических стоков от катионов цветных и тяжелых металлов методом ионной флотации с применением флокулянта ВПК-402 // Экология промышленного производства. – 2007. – № 3. – с. 24–28.
19. Быкова Г.С., Шаталаев И.С. и др. Доочистка загрязненной металлами воды наядой мелкозубчатой // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010, № 1–8. – С. 2100–2103.
20. Pablo Ladeiro, Angel Gudina, Luz Herrero. Aluminium removal from wastewater by refused beach cast seaweed. Equilibrium and dynamic studies // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – № 178. – P. 861–866.
21. Официальный сайт программного обеспечения «Comsol Multiphysics».- [Электронный курс]. - Режим доступа [www.URL: http://www.comsol.com/](http://www.comsol.com/), вход свободный.
22. Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л., Сердюк Н.И. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда). Учеб. Пособие для вузов. – 5-е изд., стер. М.: Высш.Шк., 2009. – 335с.
23. СанПиН 2.2.2.542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», М.: 1996.
24. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда [Текст]. – введ. 01.07.1991.-М.:Стандартинформ, -2010. – 16с.
25. ГОСТ 25543-2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам.- [Электронный курс].- Режим доступа [www.URL: http://kodeks.lib.tpu.ru/docs/](http://kodeks.lib.tpu.ru/docs/)
26. Приказ министерства здравоохранения и социального развития Российской федерации от 12 апреля 2011г. [Электронный ресурс].

– Режим доступа www.URL: <http://www.rg.ru/2011/10/28/medosmotr-dok.html>

27. Технический регламент от 24 декабря 2009г. О безопасности средств индивидуальной защиты [Электронный ресурс]. Режим доступа www.URL: <http://www.rg.ru/2010/03/30/tehreg-site-dok.html>

Приложение А.

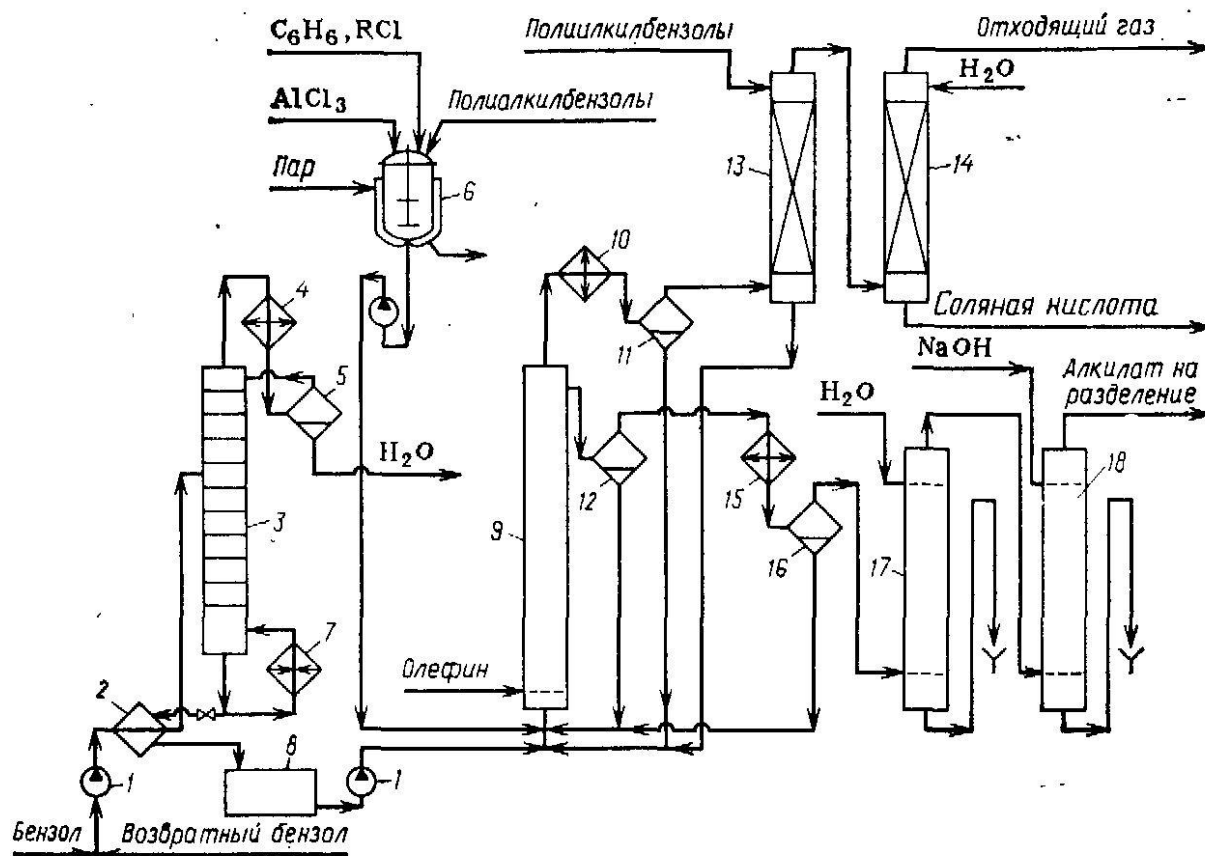


Рисунок А.1 – Принципиальная технологическая схема отделения алкилирования