

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт Нефти и Газа

Базовая кафедра химии и технологии природных энергоносителей и
углеродных материалов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. П. Твердохлебов


подпись

« 20 » июня 2016г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

18.03.01 «Химическая технология»

Проект установки сернокислотного алкилирования
производительностью 250 000 тонн в год

Научный руководитель


подпись, дата

доцент, к.х.н.

Ф.А. Бурюкин

Выпускник


подпись, дата

Ю. Э. Матюшенко

Консультант

по разделу:

Технологическая часть


подпись, дата

Р.А. Ваганов

Нормоконтролер


подпись, дата

доцент, к.х.н.

Ф.А. Бурюкин

Красноярск 2016

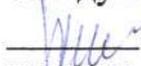
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Базовая кафедра химии и технологии природных энергоносителей и
углеродных материалов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В. П. Твердохлебов

подпись

« 20 » мая 2016 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студенту Матюшенко Юлие Эдуардовне

Группа НБ 12-08 Направление (специальность) 18.03.01
Химическая технология

Тема выпускной квалификационной работы: Проект установки сернокислотного алкилирования производительностью 250 000 тонн в год

Утверждена приказом по университету № 6141/С от 10.05.2016

Руководитель ВКР Ф.А. Бурюкин, доцент, кандидат химических наук

Исходные данные для ВКР: характеристика Михайловской нефти (С1), производительность установки алкилирования 250 000 тонн в год

Перечень разделов ВКР: Реферат. Содержание. Введение. Техно-экономические обоснования. Технологические решения. Строительные решения. Генеральный план и транспорт. Безопасность и экологичность проекта. Заключение. Список использованных источников

Перечень графического материала: Генеральный план. Технологическая схема установки сернокислотного алкилирования. Горизонтальный каскадный реактор сернокислотного алкилирования чертеж общего вида. Постамент под реактор.

Руководитель ВКР



Ф. А. Бурюкин

Задание принял к исполнению



подпись

Ю. Э. Матюшенко

« 10 » мая 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Технико-экономическое обоснование	5
2 Технологические решения	5
2.1 Характеристика исходной нефти	5
2.2 Выбор варианта и технологической схемы переработки нефти.....	8
2.3 Характеристика установок по переработке нефти	10
2.4 Материальный баланс предприятия.....	16
2.4.1 Материальный баланс НПЗ с глубокой переработкой нефти	16
2.4.2 Сводный материальный баланс НПЗ с глубокой переработкой нефти	21
2.5 Описание технологического процесса алкилирования.....	22
2.5.1 Характеристика сырья установки алкилирования.....	22
2.5.2 Теоретические основы и химизм процесса	23
2.5.3 Основные факторы, влияющие на процесс алкилирования	25
2.5.4 Описание технологической схемы установки алкилирования ..	27
2.5.5 Характеристика продуктов процесса.....	30
2.6 Выбор основного оборудования.....	33
2.7 Расчет основного оборудования.....	34
2.8 Расчет вспомогательного оборудования	56
3 Строительные решения	58
3.1 Выбор района строительства	58
3.2 Объемно – планировочные решения.....	59
3.3 Конструктивные элементы зданий и сооружений.....	60
3.4 Размещение основного оборудования	63
4 Генеральный план и транспорт	64
4.1 Характеристика района и промплощадки предприятия	64
4.2 Размещение установки на генеральном плане.....	66
4.3 Присоединение установки к инженерным сетям.....	66
4.4 Вертикальная планировка и водоотвод с площадки	67
4.5 Транспорт.....	68
4.6 Благоустройство и озеленение промышленной площадки	69
5 Безопасная эксплуатация установки	70
5.1 Основные опасности производства.....	70
5.2 Методы и средства защиты от производственных опасностей.....	71
Заключение	73
Список использованных источников	74

ВВЕДЕНИЕ

Нефть и газ – уникальные и исключительно полезные ископаемые. В связи с быстрым развитием в мире химической и нефтехимической промышленности, потребность в нефти с каждым годом увеличивается с целью повышения выработки топлив, масел и в виде источника ценного сырья для производства синтетических волокон.

По данным на 2015 год доказанные извлекаемые мировые запасы нефти оцениваются в 239,8 миллиардов тонн. Этим, на первый взгляд, колоссальным запасам при нынешних объемах добычи нефти хватит всего на несколько десятков лет. Мировые запасы тяжелой нефти составляют более 810 миллиардов тонн, однако их применение и извлечение требует использования специальных дорогостоящих технологий. Поэтому глубокая переработка нефти и нефтяных остатков, вовлечение в традиционную переработку газообразных и особенно твердых углеводородов является основной задачей ближайшего времени.

Продукты переработки нефти и газа применяют практически во всех отраслях промышленности, на всех видах транспорта, в военном и гражданском строительстве, сельском хозяйстве, так как являются основой топливно – энергетического комплекса. Основную группу нефтепродуктов представляют различные виды топлива, где моторное топливо, применяемое в двигателях внутреннего сгорания, составляет около 60 % объема всех продуктов.

С каждым годом требования к моторным топливам ужесточаются, снижаются допустимые концентрации вредных веществ, вводятся ограничения на использование токсичных компонентов и присадок. К тому же, современные модели автомобилей оборудуются экономичными двигателями с высокой степенью сжатия, вследствие чего возрастает спрос на качественное высокооктановое топливо. Для увеличения детонационной стойкости помимо изопентана, бензола, толуола, изооктана и др. применяют алкилат, производимый на установках алкилирования[1].

1 Технико-экономическое обоснование

Нефтеперерабатывающий завод, в состав которого входит проектируемая установка сернокислотного алкилирования, является предприятием топливного направления с глубокой переработкой нефти, перерабатывающим Михайловскую нефть (скважина №66). Данная нефть является легкой, отличается отсутствием асфальтенов, силикагелевых смол, твердых парафинов и масляных фракций.

Установка сернокислотного алкилирования предназначена для производства алкилбензина. Производительность установки составляет 250 тысяч тонн алкилбензина в год. Сырьем для установки служит смесь легких бутан – бутиленовой и пропан – пропиленовой фракций (ББФ и ППФ соответственно) установок предприятия.

Получаемый алкилбензин имеет высокое октановое число (по исследовательскому методу – 96) и не содержит ароматических углеводородов, являясь наиболее безопасным компонентом качественного бензина. К тому же, помимо увеличения детонационной стойкости, получаемый алкилат способен улучшать стабильность моторных топлив при колебаниях температур, не снижая при этом качественные характеристики [1].

Исходя из всего выше сказанного, можно сделать вывод о том, что данный проект является эффективным как с технической, так и с экономической точки зрения.

2 Технологические решения

2.1 Характеристика исходной нефти

Сырьем для нефтеперерабатывающего завода является нефть Михайловского месторождения.

Для выбора варианта и схемы переработки нефти приводится её

характеристика. Характеристика Михайловской нефти приводится в виде таблиц, взятых из пособия[2]. По материалам данных таблиц устанавливается шифр нефти, по технологической классификации по ОСТ 38.01197, являющейся основой для выбора варианта и схемы переработки нефти. В таблице 2.1 приведена физико – химическая характеристика Михайловской нефти (С1).

Таблица 2.1 – Физико–химическая характеристика Михайловской нефти (С1)

Наименование показателей	Значение	Наименование показателей	Значение
Плотность при 20 °С, кг/м ³	0,8430	Кислотное число, мг КОН на 1 кг.нефти	0,55
Кинематическая вязкость, мм ² /с: при 20 °С при 50 °С	0,613 0,267	Коксуемость, % Зольность, %	2,93 0,01
Содержание, % масс. – общей серы – сернокислотных смол – силикагелевых смол – асфальтенов – парафина – нафтеновых кислот	1,39 36 — — — —	Температура вспышки в закрытом тигле, °С Выход фракций, в % весовых: до 200 °С до 350 °С	-35 25,0 49,7

В таблице 2.2 приведена характеристика легких керосиновых дистиллятов.

Таблица 2.2 – Характеристика легких керосиновых дистиллятов

Температура отбора, °С		120-235
Выход на нефть, %		18,7
Плотность, ρ420		0,7740
Фракционный состав, °С	н.к	138
	10%	148
	50%	178
	90%	217
	98%	228

Окончание таблицы 2.2

Температура отбора, °С		120-235
Температура, °С	Начала кристаллизации	-60
	Вспышки	32
Содержание серы, % масс.	Общее	0,148
	Меркаптаны	0,0160

В таблице 2.3 приведена характеристика дизельных топлив и компонентов Михайловской нефти.

Таблица 2.3– Характеристика дизельных топлив и компонентов Михайловской нефти

Температура отбора, °С		200-370	235-360
Выход на нефть, %		26,2	20,3
Вязкость ν_{20} мм ² /с		4,71	6,76
Фракционный состав	10%	-	-
	50%	277	288
	90%	334	342
	96%	-	-
Температура, °С	застывания	-10	< -10
	вспышки	98	96
Содержание серы, % масс.		0,96	0,955

В таблице 2.4 приведены свойства, определяющие шифр Михайловской нефти (СІ).

Таблица 2.4– Свойства, определяющие шифр Михайловской нефти (СІ)

Наименование		Значение
Содержание серы, % масс.	в нефти	1,39
Класс нефти		2
Выход фракций до 350°С, % масс.		49,7
Тип нефти		1
Содержаниемасел, %	на нефть	-
Шифр нефти		2.1

В таблице 2.5 приведено потенциальное содержание фракций в

Михайловской нефти (СІ).

Таблица 2.5 Потенциальное содержание фракций в Михайловской нефти(СІ)

Отгоняется до температуры, °С	Содержание фракций, % масс.	
	отдельной фракции	суммарное
28	-	-
62	-	-
85	5,90	5,9
105	3,50	9,4
140	4,80	14,2
180	7,20	21,4
230	8,10	29,5
350	20,20	49,7
500	20,10	69,8
Остаток	30,2	100,0

2.2 Выбор варианта и технологической схемы переработки нефти

Исследование нефти с целью ее последующей классификации проводится для оценки потенциальных возможностей производства различных нефтепродуктов из данной нефти и выбор рациональной схемы ее переработки

Существует несколько вариантов технологических схем переработки нефти. В общем виде эти схемы могут быть сведены к основным типам:

- топливная с неглубокой переработкой нефти;
- топливная с глубокой переработкой нефти;
- топливно – масляная;
- топливно – нефтехимическая.

Схема нефтеперерабатывающего завода определяется потребностью в нефтепродуктах определённого ассортимента, качеством перерабатываемой нефти, состоянием разработки технологических процессов.

Решающим фактором является потребность в нефтепродуктах того

района, где находится предприятие. Кроме того, балансом производства и потребления нефтепродуктов предусматривается их перевозки с минимумом затрат.

По классификации Михайловской нефти (С1) видно, что она пригодна для переработки по топливному варианту. В данном случае выбрана схема завода по топливному варианту с глубокой переработкой нефти.

Завод имеет в своём составе установки первичной и вторичной переработки: из первичной – это обессоливание, обезвоживание нефти, перегонка с выделением бензиновой, керосиновой, дизельной фракций; вторичной перегонки – бензиновая фракция делится на более узкие фракции, одна из которых направляется на установку каталитического риформинга для получения ароматических соединений, а другая – (тяжёлый бензин) подвергается каталитическому риформированию в режиме производства высокооктанового бензина. Керосиновая и дизельная фракции очищаются от сернистых соединений на установке гидроочистки; часть дизельной фракции депарафинизируется с получением жидких парафинов $C_{10}-C_{20}$ и зимнего дизельного топлива. Газовые потоки риформинга поступают на ГФУ для получения товарных сжиженных газов – пропана, н-бутана, изо-бутана, изопентана, н-пентана и газового бензина.

Тяжёлый остаток перегонки(гудрон и фракции $350 - 500^{\circ}C$)используется как сырьё для битумной установки, каталитического крекинга и установки коксования. Газы и головки крекинга и коксования направляются на газофракционирование непредельных газов, где производится сырьё для установки алкилирования: бутан – бутиленовая и пропан – пропиленовая фракции (ББФ и ППФ соответственно), с последующим получением легких и тяжелых алкилатов.

На рисунке 1 представлена поточная схема завода с глубокой переработкой нефти по топливному варианту.

В состав блока входят:

- электрообессоливание и обезвоживание нефти;
- атмосферная перегонка и стабилизация бензина;
- вакуумная перегонка остатка.

Процесс производится с помощью физико – химических методов: обессоливание, обезвоживание, очистки от сернистых соединений; физических методов: ректификации, теплообмена. Для избавления от солей и воды используют электродегидраторы, работа которых основана на воздействии деэмульгаторов в присутствии электрического тока. Для перегонки используют одноступенчатые трубчатые установки. Вначале перегонку ведут при атмосферном давлении с выделением бензиновой и других высококипящих фракций; остаток – мазут – перегоняют в вакууме во избежание расщепления углеводородов при действии высокой температуры. Установка предназначена для получения из нефти дистиллятов бензина, керосина, дизельного топлива, гудрона. Кроме этих продуктов на установке получают сухой и жирный газы, сжиженный газ.

Процесс каталитического риформинга предназначен как для получения ароматики, так и высокооктанового бензина, в зависимости от условий протекания процесса и поданного сырья. Так, для получения бензола и толуола, сырьём установки и экстракции ароматических углеводородов являются фракции отбираемые в пределах 62–85°С и 85–105°С. Сырьё с блока риформинга вводится в экстрактор, в верхнюю часть которого подаётся экстрагент. Из нижней части экстрактора насыщенный углеводородами растворитель поступает в отпарную колонну, где осуществляется процесс экстрактивной ректификации.

Прямогонные бензиновые фракции (85–105°С, 105–140°С, 140–180°С) являются сырьём установки каталитического риформинга. Процесс заключается в ароматизации бензиновых фракций происходящих в результате реакций каталитического преобразования нафтеновых и парафиновых углеводородов в ароматические, при этом значительно возрастает октановое

число. Выход высокооктанового компонента бензина составляет 80–88% (масс.), его октановое число 80–85 (моторный метод) против 30–40 для сырья. Применяется активный биметаллический платино – рениевый катализатор, имеющий форму цилиндров. Продуктами каталитического риформинга являются:

- стабильный катализат служит компонентом товарного автобензина;
- водородсодержащий газ используется на установках гидроочистки дизельного топлива, гидроочистки керосина, каталитического крекинга;
- нестабильная головка является сырьём газофракционирующей установки;
- углеводородный газ.

В качестве сырья установки гидроочистки керосина используется прямогонная керосиновая фракция. Установка спроектирована для понижения содержания серы в сырье (керосине) с 0,148 до менее 0,001% (масс.). Целевым продуктом процесса является гидроочищенная керосиновая фракция. Кроме того получают небольшие количества низкооктановой бензиновой фракции.

В качестве исходного дистиллята гидроочистки дизельного топлива используются керосин–газойлевые фракции с температурами выкипания 180–230°C, 230–350°C, легкий газойль коксования. Процессы протекают в среде водорода, на стационарном катализаторе (алюмокобальтмолибденовом), путём удаления серы, кислорода, смолистых соединений, непредельных соединений. Процесс гидроочистки повышает стабильность топлив, снижает коррозионную активность, улучшает цвет и запах. Побочными продуктами процесса являются низкооктановый бензин, углеводородный газ, сероводород.

Сырьём установки адсорбционной депарафинизации дизельного топлива является гидроочищенное дизельное топливо. Процесс предназначен для получения зимних дизельных топлив с требуемыми температурами застывания (–40°C) и низкотемпературными свойствами, также процесс предназначен для получения низкоплавких парафинов.

Процесс газофракционирующей установки предельных газов предназначен для получения индивидуальных лёгких углеводородов. Источником углеводородных газов являются газы, выделившиеся при первичной перегонке на установке АВТ и каталитического риформинга. Газы первичной перегонки проходят очистку 15% раствором МЭА от сероводорода (процесс абсорбции). Очищенная смесь углеводородных газов и головка каталитического риформинга подаются на блок ректификации, где выделяются узкие углеводородные фракции:

— пропановая используется как бытовой сжиженный газ, применяется в качестве хладагента и сырья для пиролиза;

— изобутановая применяется в качестве сырья для производства синтетического каучука;

— бутановая используется как бытовой сжиженный газ, добавляется к автомобильным бензинам для повышения давления паров;

— изопентановая служит компонентом высокооктановых бензинов;

— пентановая является сырьём для процессов изомеризации;

— сухой газ выводится в топливную сеть;

— газовый бензин (С5 и выше) компонент высокооктановых бензинов.

Сырьем установки производства битумов является подготовленный для окисления гудрон и мазут с установки АВТ. В состав установки входят: блок вакуумной перегонки мазута и блок окисления гудрона. В блоке ВТ принята одноколонная схема вакуумной переработки мазута, обеспечивающая получение гудрона, удовлетворяющего по качеству требованиям, предъявляемым к сырью для производства битумов методом окисления. Технологическая схема битумного блока – двухпоточная, что дает возможность одновременно получать разные марки битумов: строительные и дорожные. Отработанные газы окисления, состоящие из азота, водяных паров, диоксида и оксида углерода, остаточного кислорода и органических веществ, выводят из окислительного аппарата на термическое обезвреживание (сжигание).

Процесс каталитического крекинга существенно увеличивает глубину переработки. Предназначен для производства высокооктановых бензинов, ценных сжиженных газов, насыщенных непредельных соединений. Сырьем установки является фракция 350–500°C. Используемый в ходе крекинга катализатор представляет собой крекирующий цеолитный компонент, нанесенный на аморфную алюмосиликатную матрицу. Лифт – реактор позволяет без проблем отделить катализатор от продуктов и легко производить регенерацию катализатора. В данном случае на выходе образуются следующие продукты: жирный газ C_1-C_4 (сырье для алкилирования и нефтехимии), бензин, керосиновая (газойлевая фракция 180–280°C), фракция 280–420°C (сырье для производства технического углерода и сажи), тяжёлый остаток $\geq 420^\circ C$ (крекинг-остаток, является ценным сырьём для производства игольчатого кокса).

Для процесса замедленного коксования в качестве сырья используют тяжелый остаток гудрон и асфальт с установки деасфальтизации. Реактор представляет собой необогреваемую вертикальную камеру (1–2 шт), которая на 70–80% заполняется сырьем, которое в значительной части испаряется и выводится, а образовавшийся кокс копится до следующей выгрузки. На данной установке помимо кокса, производится головка и газы коксования (C_1-C_4 , сырье для установки алкилирования), низкооктановый бензин коксования (после гидрооблагораживания может использоваться как компонент бензиновых топлив), легкий газойль (компонент дизельного, печного, газотурбинного топлива) и тяжелый газойль (компонент котельного топлива).

Назначением установки деасфальтизации гудрона является удаление с помощью специальных селективных растворителей смолисто – асфальтовых веществ и полициклических углеводородных соединений, которые обладают высокой склонностью к коксованию и низким индексом вязкости. В качестве растворителя как правило используется пропан. Данный процесс применяют помимо этого ещё и для синтеза сырья установок каталитического крекинга и гидрокрекинга, тогда помимо пропана используют бутан, пентан и

легкие бензиновые фракции. Сырьем установки является гудрон – остаток, получаемый на установке вакуумной перегонкой мазута. Продуктами данного блока являются: деасфальтизаты (его используют в качестве промежуточного продукта при производствах остаточных масел или в качестве сырья на установках каталитического крекинга и гидрокрекинга), асфальты (служат сырьем при производстве битума или как компонент котельного топлива).

Газофракционирующая установка непредельных газов необходима на предприятии для получения индивидуальных легких углеводородов или фракций высокой чистоты из производственных газов. Сырье может поступать на ГФУ как в газообразном, так и жидком (головки стабилизации) состоянии. В данном случае это головки стабилизации с установок каталитического крекинга и коксования. На выходе из блока газофракционирования получают пропан – пропиленовую фракцию, которую применяют как сырьё на установках полимеризации и алкилирования, производства нефтехимических продуктов, и бутан – бутиленовую, которую также используют как сырьё для установок полимеризации, алкилирования и различных нефтехимических производств.

Сырьем установки производства серы служит сероводород выделенный на установках в процессе переработки нефти. Сероводород выделяют с помощью 15%-ного водного раствора моноэтаноламина из соответствующих потоков с установок гидроочистки и гидрокрекинга. На установке производства серы смонтирован блок регенерации сероводорода из насыщенных растворов моноэтаноламина. Регенерированный моноэтаноламин возвращается на установки гидроочистки, где вновь используется для извлечения сероводорода. Основные стадии процесса производства серы и технического сероводорода: термическое окисление сероводорода кислородом воздуха с получением серы и диоксида серы; взаимодействие диоксида серы с сероводородом в реакторах (конвекторах), загруженных катализатором. Продукт установки – элементарная сера с её содержанием не менее 99,98 % (масс.).

2.4 Материальный баланс предприятия

2.4.1 Материальный баланс НПЗ с глубокой переработкой нефти

В таблице 2.6 приведен материальный баланс НПЗ по топливному варианту с глубокой переработкой нефти.

Таблица 2.6 — Материальный баланс НПЗ по топливному варианту с глубокой переработкой нефти

Процессы и продукты	% на сырьё установки	% на нефть	Производ., тыс т/год
1 Обессоливание нефти			
Поступило:			
Нефть сырая	101	101	8859,65
Получено:			
Нефть обессоленная	100	100	8771,93
Вода и соли	1	1	87,72
Всего:	101	101	8859,65
2 Атмосферно-вакуумная перегонка			
Поступило:			
Нефть обессоленная	100	100	8771,93
Получено:			
Газ и головка стабилизации	-	-	-
Фракция н.к. -62°C	-	-	-
62-85°C	5,9	5,9	517,54
85-105°C	3,5	3,5	307,02
105-140°C	4,8	4,8	421,05
140-180°C	7,2	7,2	631,58
180-230°C	8,1	8,1	710,53
230-350°C	20,20	20,20	1771,93
350-500°C	20,10	20,10	1763,16
Гудрон	29,50	29,50	2587,72
Потери	0,70	0,70	61,40
Всего:	100	100	8771,93
3 Каталитический риформинг и экстракция Ar УВ			
Поступило:			
Фракция 62-85°C	79,73	5,9	517,54
85-105°C	20,27	1,50	131,58
Всего:	100	7,40	649,12
Получено:			
Бензол	11,80	0,87	76,60
Толуол	11,90	0,88	77,25
Сольвент	3,00	0,22	19,47
Рафинат	56,00	4,14	363,51
ВСГ	5,00	0,37	32,46

Продолжение таблицы 2.6

Процессы и продукты	% на сырьё установки	% на нефть	Производ., тыс т/год
Головка стабилизации	5,00	0,37	32,46
Газ	6,00	0,44	38,95
Потери	1,30	0,10	8,44
Всего:	100	7,40	649,12
4Каталитическийриформинг			
Поступило:			
Фракция 85-105°C	16,08	2,00	175,44
105-140°C	38,60	4,80	421,05
140-180°C	41,82	5,20	456,14
Бензины-отгоны гидроочистки	3,50	0,44	38,22
Всего:	100,00	12,44	1090,85
Получено:			
Катализат	83,00	10,21	895,56
ВСГ	5,00	0,62	53,95
в т.ч. водород	(1,10)	(0,14)	11,87
Головка стабилизации	5,00	0,62	53,95
Газ	6,00	0,74	64,74
Потери	1,00	0,12	10,79
Всего:	100,00	12,44	1090,85
5Гидроочитска керосина			
Поступило:			
Фракция 140-180°C	25,00	2,00	175,44
180-230°C	75,00	4,10	359,65
ВСГ	1,20	0,07	5,75
в т.ч. водород	(0,30)	(0,02)	1,44
Всего:	101,20	6,16	540,53
Получено:			
Гидроочищенный керосин	97,20	5,92	519,16
Бензин-отгон	1,50	0,09	8,01
Сероводород	0,10	0,01	0,53
Газ	2,00	0,12	10,68
Потери	0,40	0,02	2,14
Всего:	101,20	6,16	540,53
6Гидроочистка дизельных фракций			
Поступило:			
Фракция 180-230°C	12,78	4,00	350,88
230-350°C	64,52	20,20	1771,93
Легкий газойль коксования	22,70	7,11	623,37
ВСГ	1,70	0,53	46,68
в т.ч. водород	(0,40)	(0,13)	10,98
Всего:	101,70	31,84	2792,86
Получено:			
Гидроочищенное ДТ	97,10	30,40	2666,54
Бензин-отгон	1,10	0,34	30,21

Продолжение таблицы 2.6

Процессы и продукты	% на сырьё установки	% на нефть	Производ., тыс т/год
Сероводород	0,80	0,25	21,97
Газ	2,30	0,72	63,16
Потери	0,40	0,13	10,98
Всего:	101,70	31,84	2792,86
7 Адсорбционная депарафинизация ДТ			
Поступило:			
Гидроочищенное ДТ	100,00	10,00	877,19
Водород	1,00	0,10	8,77
Всего:	101,00	30,175	885,96
Получено:			
ДТ Зимнее	80,30	8,03	704,39
Промежуточная фракция	9,10	0,91	79,82
Парафин жидкий	11,20	1,12	98,25
Потери	0,40	0,04	3,51
Всего:	101,00	10,10	885,96
8 Газофракционирование предельных газов			
Поступило:			
Газ и головка АВТ	-	-	-
Головка каталитического риформинга	100,00	0,99	86,41
Всего:	100,00	0,99	86,41
Получено:			
Пропан	21,60	0,21	18,66
Изобутан	16,10	0,16	13,91
н-Бутан	33,00	0,33	28,51
Изопентан	8,60	0,08	7,43
н-Пентан	11,00	0,11	9,50
Газовый бензин	1,80	0,02	1,56
Газ	6,50	0,06	5,62
Потери	1,40	0,01	1,21
Всего:	100,00	0,99	86,41
9 Производство битумов			
Поступило:			
Гудрон	58,82	3,00	263,16
Фракция 350-500°С	41,18	2,10	184,21
ПАВ	3,00	0,15	13,42
Всего:	103,00	5,25	460,79
Получено:			
Битумы дорожные	72,70	3,71	325,24
Битумы строительные	26,40	1,35	118,11
Отгон	1,30	0,07	5,82
Газы окисления	1,60	0,08	7,16
Потери	1,00	0,05	4,47
Всего:	103,00	5,25	460,79

Продолжение таблицы 2.6

Процессы и продукты	% на сырьё установки	% на нефть	Производ., тыс т/год
10Каталитический крекинг с блоком предварительной очистки сырья Блок гидроочистки Поступило: Фракция 350-500°С Водород с водородной установки	100,00 1,50	18,00 0,27	1578,95 23,68
Всего:	101,50	18,27	1602,63
Гидроочищенный вакуум-дистиллят Бензин - отгон Сероводород Газ Потери	94,80 1,40 2,30 2,00 1,00	17,06 0,25 0,41 0,36 0,18	1496,84 22,11 36,32 31,58 15,79
Всего:	101,50	18,27	1602,63
Блок каталитического крекинга Поступило: Гидроочищенный вакуум - дистиллят Получено: Газ и головка стабилизации Бензин Легкий газойль (Фракция 180-230°С) Тяжелый газойль (Фракция 280-420°С) - сырье для производства технического углерода Фракция 420°С Кокс выжигаемый и потери	100,00 16,00 50,00 10,00 10,00 10,40 3,60	17,06 2,73 8,53 1,71 1,71 1,77 0,61	1496,84 239,49 748,42 149,68 149,68 155,67 53,89
Всего:	100,00	17,06	1496,84
11Коксование Поступило: Гудрон Асфальт с установки деасфальтизации	88,60 11,40	17,50 8,82	1535,09 773,68
Всего:	100,00	26,32	2308,77
Получено: Газ и головка стабилизации Бензин Легкий газойль Тяжелый газойль Кокс Потери	8,60 13,00 27,00 24,40 24,00 3,00	2,26 3,42 7,11 6,42 6,32 0,79	198,55 300,14 623,37 563,34 554,11 69,26
Всего:	100,00	26,32	2308,77
12Деасфальтизация гудрона Поступило: Гудрон Получено: Асфальт на замедленное коксование Потери	100,00 98,00 2,00	9,00 8,82 0,81	789,47 773,68 15,79

Окончание таблицы 2.6

Процессы и продукты	% на сырьё установки	% на нефть	Производ., тыс т/год
Всего:	100,00	9,00	789,47
13 Газофракционирование непредельных газов			
Поступило:			
Газ и головка кат. крекинга	54,67	2,73	239,49
Газ и головка коксования	45,33	2,26	198,55
Всего:	100,00	4,99	438,05
Получено:			
Пропан-пропиленовая фракция	24,00	1,20	105,13
Бутан-бутиленовая фракция	33,00	1,65	144,56
Газовый бензин (C5 и выше)	6,50	0,32	28,47
Газ	33,50	1,67	146,75
Потери	3,00	0,15	13,14
Всего:	100,00	4,99	438,05
14 Алкилирование			
Поступило:			
Бутан-бутиленовая фракция	57,89	1,65	144,74
в т.ч. изобутан	(40,00)	(1,14)	100,00
Пропан-пропиленовая фракция	42,11	1,20	105,26
Всего:	100,00	2,85	250,00
Получено:			
Легкий алкилат	77,10	2,19	192,75
Тяжелый алкилат	3,10	0,09	7,75
Пропан	1,90	0,05	4,75
Бутан-пентаны	14,90	0,42	37,25
Потери	3,00	0,09	7,50
Всего:	100,00	2,85	250,00
15 Производство серы			
Поступило:			
Сероводород	100,00	0,67	58,89
Получено:			
Сера элементная	97,00	0,65	57,13
Потери	3,00	0,02	1,77
Всего:	100,00	0,67	58,89
16 Производство водорода			
Поступило:			
Сухой газ	32,70	0,57	50,09
Хим. очищенная вода (на реакцию)	67,30	1,17	103,10
Всего:	100,00	1,74	153,19
Получено:			
водород технический, 96%	18,20	0,30	26,04
в том числе водород 100%	(17,50)	(0,29)	25,04
двуокись углерода	77,80	1,27	111,32
потери	4,00	0,07	5,72
Всего:	100,00	1,74	153,19

2.4.2 Сводный материальный баланс НПЗ с глубокой переработкой нефти

В таблице 2.7 приведен сводный материальный баланс НПЗ при работе по топливному варианту с глубокой переработкой Михайловской нефти.

Таблица 2.7— Сводный материальный баланс НПЗ при работе по топливному варианту с глубокой переработкой нефти

Компоненты	Топливный вариант с глубокой переработкой	Производительность, тыс т/год
Поступило:		
Нефть обессоленная	100	8771,93
ПАВ на производство битума	0,15	13,42
Вода на производство водорода	1,17	103,10
Присадки к маслам	-	-
Всего:	101,33	8888,45
Получено:		
Автомобильный бензин, в т.ч.:	30,49	2674,96
катализат риформинга	10,21	895,56
алкилат легкий	2,19	192,75
рафинат от производства Ag УВ	4,14	363,51
бензин каталитического крекинга	8,53	748,42
газовые бензины	0,34	30,03
бензин коксования	3,42	300,14
бутан	1,65	144,56
Керосин гидроочищенный	5,92	519,16
Дизельное топливо летнее, в т.ч.:	21,20	1850,27
гидроочищенное топливо	18,5	1613,01
легкий газойль каталитического крекинга	1,71	149,68
тяжелый алкилат	0,09	7,75
промежуточная фракция депарафинизации	0,91	79,82
Дизельное топливо зимнее	8,03	704,39
Ароматические углеводороды, в т.ч.:	1,98	173,32
бензол	0,87	76,60
толуол	0,88	77,25
сольвент	0,22	19,47
Сжиженные газы, в т.ч.:	2,37	208,22
пропан	0,21	18,66
изобутан	0,16	13,91
н-бутан	0,33	28,51
пропан-пропиленовая фракция	1,20	105,13
пропан и бутан-пентаныалкилирования	0,48	42,00
Изопентан	0,08	7,43

Окончание таблицы 2.7

Компоненты	Топливный вариант с глубокой переработкой	Производительность, тыс т/год
Битумы дорожные и строительные	5,05	443,34
Жидкий парафин	1,05	98,47
Кокс	6,32	513,10
Сырье для производства технического углерода	1,71	149,68
Котельное топливо, в т.ч.:	8,26	724,83
тяжелый газойль коксования	6,42	563,34
фракция выше 420 °С кат.крекинга	1,77	155,67
отгоны производства битумов	0,07	5,82
Сера элементарная	0,65	57,13
Топливный газ	3,55	311,44
Диоксид углерода	1,27	111,18
Отходы (кокс выжигаемый, газы окисления)	0,70	61,04
Пентан с ГФУ	0,11	9,50
Потери безвозвратные:	2,64	231,90
Всего:	101,35	8890,14
Погрешность, %	0,020	

2.5 Описание технологического процесса алкилирования

2.5.1 Характеристика сырья установки алкилирования

Оптимальным сырьем для сернокислотного алкилирования изобутана являются бутилены. В нефтепереработке в качестве алкенового сырья обычно используют бутан – бутиленовую фракцию в смеси с пропан – пропиленовой с содержанием пропилена менее 50% от суммы алкенов.

К сырью процесса предъявляются повышенные требования по содержанию влаги и сернистых соединений, так как влага разбавляет концентрацию кислоты, тем самым препятствуя полному протеканию реакций и увеличивая её расход, а сера является неблагоприятным компонентом в продуктах. Если сырье от каталитического крекинга не подвергалось предварительной гидроочистке, то бутан–бутиленовую фракцию крекинга обычно очищают щелочью от сернистых меркаптановых соединений. Диены, содержащиеся в сырье, образуют сложные продукты взаимодействия с

серной кислотой и остаются в кислотной фазе, разбавляя кислоту, что также увеличивает её расход. Предельные газы C₂–C₃ аналогично являются нежелательными компонентами сырья, так как увеличивают давление в системе.

В таблице 2.8 приведена зависимость показателей процесса сернокислотного алкилирования изобутана от состава алкенов.

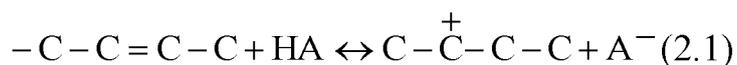
Таблица 2.8 – Зависимость показателей процесса сернокислотного алкилирования изобутана от состава алкенов

Показатель	Сырье	
	Пропилен	Бутилен
Объемный выход алкилата, % на алкен	175-187	170-172
Объемный расход изобутана, % на алкен	127-135	111-117
Удельный расход к-ты на алкилат, кг/м ³	216-240	48-72
ОЧ алкилата:		
Моторный метод	88-90	92-94
Исследовательский метод	89-91	94-96

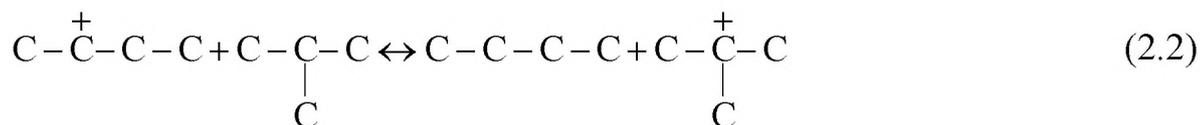
2.5.2 Теоретические основы и химизм процесса

Из алканов к алкилированию способны только изоалканы, имеющие третичный атом углерода, алкены же могут быть различными но чаще всего применяют бутилены, алкилирующие изобутан с образованием изо–C₈H₁₈, по температуре кипения наиболее пригодных в качестве компонента бензинов. Процесс протекает, как и каткрекинг, по карбений – ионному цепному механизму.

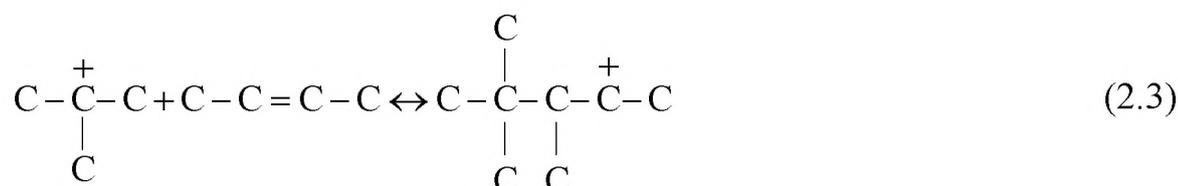
Первой стадией процесса (возникновения цепи) является протонирование алкена:



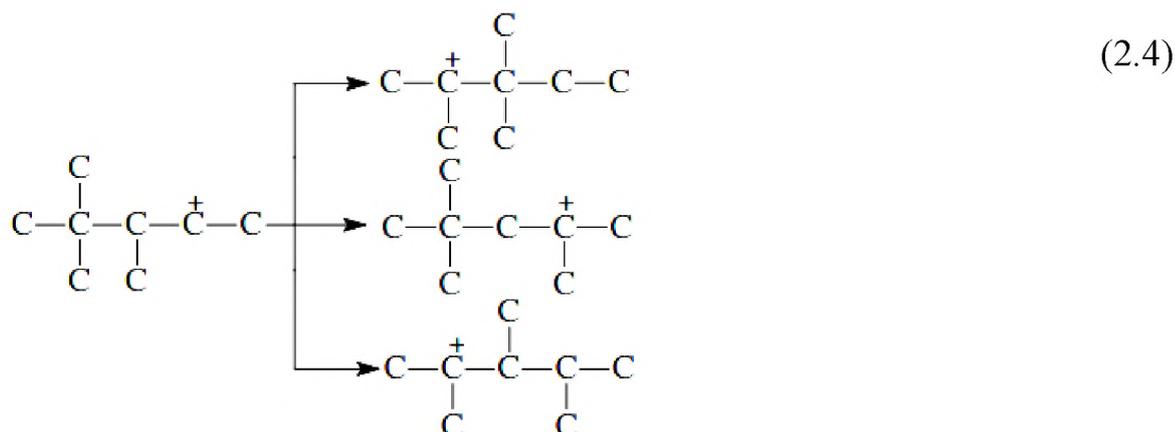
Карбениевый ион реагирует в основном с изобутаном с образованием третичного карбений – иона:



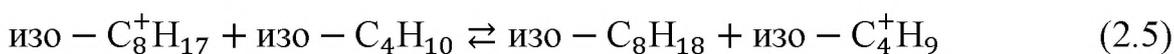
Образовавшийся по реакции (2.2) третичный бутильный карбениевый ион вступает в реакцию с бутеном:



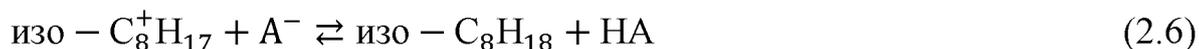
Далее вторичный карбокатион изомеризуется в более устойчивый третичный:



Изомеризованные карбокатионы в результате обмена протоном с изоалканом образуют целевой продукт процесса – 2,2,4-, 2,3,3- и 2,3,4-триметилпентаны:



Обрыв цепи происходит при передаче протона от карбокатиона к аниону кислоты:



Помимо основной реакции алкилирования протекают побочные реакции, продукты которых снижают качество получаемого алкилата: алкилирование пропиленов и кетонов (пропилены и кетоны, вступая в реакцию с изобутаном, образуют продукты с низким октановым числом, повышается расход изобутановой фракции), полимеризация (при недостаточном количестве циркулирующего изобутана в реакционной зоне происходит взаимодействие олефинов между собой, в результате которого образуются тяжелые углеводороды, снижающие качество алкилата. Для подавления реакции полимеризации процесс сернокислотного алкилирования проводят при разбавлении олефинового сырья потоком непрерывно циркулирующего в системе изобутана. Избыток изобутана предотвращает также побочную реакцию dealкилирования, примеси, находящиеся в сырье, также вступают в реакцию с образованием растворимых в кислоте масел, при этом происходит загрязнение серной кислоты, вследствие чего увеличивается её потребление.

Вредными примесями для реакции алкилирования являются бутадиены, кислородные соединения (метанол, спирты, эфиры, МТБЭ), меркаптаны (серные соединения), вода. Присутствие в серной кислоте сульфатов железа (II и III валентного) создают более благоприятные условия для протекания вторичных реакций.

2.5.3 Основные факторы, влияющие на процесс алкилирования

Разбавление сырья изобутановой фракцией. В реакционной зоне необходимо поддерживать большой избыток изобутана по сравнению с олефинами, так как избытком изобутана подавляются побочные реакции полимеризации и dealкилирования.

Кратность изобутан – олефины обычно составляет от 6:1 до 10:1. Повышение кратности более 12:1 уже малоэффективно, так как при этом

возрастают эксплуатационные расходы на циркуляцию и охлаждение изобутана.

Объемная скорость реакции. Как правило, колеблется в районе $0,3 \text{ ч}^{-1}$. Этот параметр характеризует длительность пребывания углеводородной фазы в реакторе, является важным для определения размеров установки, так как позволяет оптимизировать выбор числа реакторов в зависимости от спецификации алкилатной продукции и качества этого алкилата. С точки зрения эксплуатации установки он не имеет большого значения.

Температура в зоне реакции. Температура реакции должна быть от 4°C до 10°C . Реакция алкилирования протекает с положительным тепловым эффектом ($85\text{--}90 \text{ кДж}$). Для поддержания технологического режима выделяющееся тепло необходимо отводить, так как повышение температуры способствует полимеризации олефинов. В результате увеличивается расход серной кислоты на реакцию, снижается выход алкилата и ухудшается его качество по антидетонационной характеристике. Если температура реакции опускается ниже 4°C , то отстаивание кислоты и углеводородов происходит хуже, приводя к тому, что углеводороды на выходе из реактора увлекают за собой кислоту. При температуре ниже 2°C серная кислота застывает, что вызывает увеличение расхода энергии на ее перемешивание и препятствует образованию эмульсии необходимого качества.

Давление в реакционном контуре. Давление этого процесса выбирают по технологическим соображениям немного больше, чем ДНП перерабатываемых углеводородов, чтобы обеспечить поддержание их в жидкой фазе при данной температуре, как правило $0,3\text{--}1,0 \text{ МПа}$.

Концентрация серной кислоты. Для алкилирования фракций углеводородов C_4 обычно используют серную кислоту, содержащую $90\text{--}98\%$ моногидрата. При увеличении концентрации серной кислоты повышается октановое число алкилата (антидетонационные характеристики). Серная кислота с концентрацией менее 86% интенсифицирует побочные реакции

полимеризации олефинов, поэтому емкости для накопления ББФ и изобутановой фракции необходимо тщательно дренировать от воды.

Насыщенность и однородность смеси в реакторе. Для того чтобы реакция алкилирования протекала нормально, нужно гомогенизировать эмульсию серной кислоты и углеводородов. Однородная эмульсия в реакторе образуется с помощью перемешивающих устройств. Серная кислота является непрерывной фазой эмульсии. Так как изобутан слабо растворим в серной кислоте, он распылен в кислоте в виде очень маленьких капелек. Объемное соотношение катализатор (серная кислота): углеводороды принимается равным 1:1.

2.5.4 Описание технологической схемы установки алкилирования

Сырье (ББФ, ППФ и изобутановая фракция) из товарного парка поступает на блок подготовки сырья, где смешивается с циркулирующим изобутаном с блока деизобутанизации.

Далее смесь (комбинированное сырье) охлаждается сырым алкилатом в теплообменниках. Затем комбинированное сырье поступает на очистку от механических примесей и подтоварной воды и далее поступает пятью параллельными потоками в контакторы реакторного блока (реакционные секции).

Реактор представляет собой горизонтальный каскадный аппарат, работающий под небольшим давлением и содержащий пять реакционных зон и одну отстойную зону. В каждой из пяти реакционных зон есть внутренняя циркуляционная труба с отверстиями (диффузор), и крыльчатку (вертушку или перемешивающее устройство - пропеллерную мешалку) для интенсивного смешивания УВ сырья и серной кислоты. По мере прохождения смеси через крыльчатку образуется эмульсия углеводородов и кислоты. Эмульсия непрерывно циркулирует в контакторе с очень высокой скоростью.

Часть эмульсии выводится из первого контактора, переливаясь через L - образную переливную перегородку и поступает во вторую секцию, куда также

поступает сырье. Аналогично первой секции, во второй происходит интенсивное перемешивания и протекает реакция алкилирования, затем смесь через перегородку направляется в третью и последующие секции. Пройдя через пять реакционных зон, смесь поступает в отстойную зону, где углеводородная фаза (реакционная смесь контактора) отделяется от эмульсии. Кислота, как более тяжелая из двух фаз, осаждается внизу аппарата, выводится, смешивается со свежей серной кислотой для поддержания оптимальной концентрации и затем снова поступает в реактор, смешиваясь с изобутаном, и снова проходит все пять реакционных зон и отстойник.

Оставшаяся часть эмульсии рециркулируется в контакторе, это предотвращает полимеризацию, в результате повышается качество алкилбензина и снижается расход серной кислоты.

Для поддержания требуемой концентрации отработанной кислоты ($\approx 90,0\%$ масс.) в первый контактор непрерывно подается небольшой объем свежей кислоты ($98,0\%$ масс.), и выводится соответствующий объем отработанной кислоты из отстойной зоны.

Регулирующий клапан поддерживает давление равное $0,2 - 0,4$ МПа. Это давление обычно является достаточным, чтобы предотвратить ненужные испарения углеводородов.

Поток реакционной смеси из отстойной зоны поступает в сепаратор, где происходит разделение паров и жидкости. Жидкость откачивается насосом на блок промывки сырого алкилата через теплообменники.

Поток паров углеводородов из сепаратора поступает в конденсатор - холодильник, где он сжимается примерно до $0,59$ МПа. При этом давлении продукта пары хладагента можно конденсировать с помощью аппарата воздушного охлаждения.

Каждая зона снабжена штуцерами для вывода испарившегося изобутана. пары изобутана направляются в холодильник - конденсатор, где происходит частичное разделение.

Сконденсированный изобутан поступает обратно в реактор, смешивается с серной кислотой, снова войдя в реакцию. Пары, не сконденсировавшиеся в холодильнике - конденсаторе, направляются в деизобутанизирующую колонну.

Смесь углеводородов, которая прошла отстаивание от серной кислоты, направляется на щелочную промывку и последующую промывку чистой водой.

В аппарате щелочной промывки происходит гидролиз нейтральных эфиров и нейтрализация свободной кислоты. Для того чтобы усилить разложение эфиров, этот аппарат работает при рН от 8 до 12 и температуре 49°C. Обработанная реакционная смесь направляется из аппарата щелочной промывки в аппарат водной промывки для удаления следов щелочи и продуктов ее нейтрализации. Далее реакционная смесь (сырой алкилат) с верха аппарата водной промывки направляется в деизобутанизатор.

После промывки алкилата щелочью и водой, углеводородная смесь поступает в колонну депропанации.

Верхним продуктом этой колонны является пропановая фракция. Пары продукта с верха колонны конденсируются и так пропановая фракция поступает в емкость. Часть пропановой фракции возвращается в колонну в качестве орошения, а другая часть (балансовый избыток) направляется в товарный парк для хранения. Куб колонны подогревается ребойлером. Продукт куба депропанатора, состоящий в основном из изобутана и н-бутана подается в экономайзер.

В деизобутанизаторе происходит концентрация рециркулирующего и подпиточного изобутана, направляемого в реакторный блок. В деизобутанизатор поступает два вида сырья: обработанная реакционная смесь из аппарата водной промывки и подпиточная изобутановая фракция из товарного парка.

Пары продукта с верха колонны конденсируются и накапливаются в емкости. Часть изобутана из емкости возвращается в качестве орошения на верхнюю тарелку колонны. Остаток изобутана направляется в реакторный блок на смешение с ББФ.

Тепло в куб колонны подводится при помощи ребойлера деизобутанизатора. Поток продукта куба деизобутанизатора поступает в дебутанизатор, где происходит разделение продуктов: бутановой фракции и алкилбензина. Пары с верха дебутанизатора конденсируются и часть бутановой фракции используется в качестве орошения в колонну.

После дебутанизатора смесь поступает в колонну разделения алкилатов на тяжелый и легкий. После разделения горячий алкилбензин откачивается через воздушный холодильник и направляется в товарное производство.

Отработанная серная кислота направляется в кислотный отстойник и затем откачивается из этих резервуаров на установку РОСК (регенерация отработанной серной кислоты).

Емкость дегазации стоков предназначена для испарения различных стоков воды установки с целью удаления остаточных углеводородов. Пары из дегазатора стоков направляются в факельную емкость, а жидкость – в бассейн нейтрализации.

Бассейн нейтрализации предназначен для сбора различных стоков с установки, кислых стоков с установки РОСК и регулирования pH смешанных стоков воды перед их подачей в систему промышленной канализации предприятия.

2.5.5 Характеристика продуктов процесса

В качестве продуктов процесса алкилирования получают авиационный и автомобильный алкилаты (мотоалкилат) и отработанную фракцию, которая представляет собой в основном смесь пропана и н-бутана. Соотношение между авиа- и мотоалкилатами колеблется от 0,95 : 0,05 до 0,90:0,10.

Конечными продуктами сернокислотного алкилирования являются:

- авиаалкилат (фракция до 190°C, выход 70–80% от общей загрузки);
- мотоалкилат (фракция более 190°C, выход 3–5%, используется для получения растворителей и как компонент дизельного топлива);

— отработанная бутановая фракция (на 70% состоит из н-бутана, выход 10–15% от загрузки, используется на газофракционирующей установке);

— пропан (выход 2–8% от общей загрузки).

Фракционный состав авиа– и мотоалкилата представлен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Фракционный состав авиа– и мотоалкилата

Температура, °С	Авиаалкилат	Мотоалкилат
н. к	47—57	170—175
10 %	75—87	173—188
20 %	83—90	174—176
50%	100—104	177—198
к.к.	150—170	205—301

В таблице 2.10 изображена технологическая характеристика основных продуктов установки сернокислотного алкилирования, показатели качества и нормы по нормативным документам.

Таблица 2.10 – Технологические характеристики и нормы продуктов установки

Наименование продукции	Номер стандарта	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу
Алкилбензин	СТО 401230-2002	1. Октановое число, не менее	
		- по моторному методу	92,0
		- по исследовательскому методу	95,0
		2. Фракционный состав:	
		- температура начала перегонки, °С, не ниже	35,0
		- конец кипения, °С, не выше	215,0
		3.Содержание механ. примесей и воды	отсутствие

Окончание таблицы 2.10

Наименование продукции	Номер стандарта	Показатели качества, подлежащие проверке	Норма по нормативному документу		
Фракция бутановая	СТО 401227-2002	1. Массовая доля компонентов, %: - нормальный бутан, не менее - углеводороды фракции C ₅ и выше, не более	97,5 0,6		
Бутан нормальный	ТУ 38.301-19-57-97	1. Массовая доля компонентов, %:	Значение по маркам		
			высшая	А	Б
		а) пропан, не более	0,3	0,5	1,0
		б) изобутана, не более	0,9	1,5	4,0
		в) сумма бутиленов и неопентана (2,2 диметилпропан), не более	1,4	2,5	6,0
г) нормальный бутан, не менее	98,6	97,5	94,0		
д) сумма углеводородов C ₅ и выше, не более	0,4	0,6	2,5		
2. Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более	0,005	0,005	0,01		
3. Содержание свободной воды и щелочи	отсутствие				
Фракция пропановая	СТО 7.401202-99	1. Массовая доля компонентов, %:			
		- сумма УВ C ₁ и C ₂ , не более	2,3		
		- сумма УВ C ₃ , не менее	93,0		
- сумма УВ C ₄ , не более	4,7				
- сумма УВ C ₅ , не более	1,0				
2. Массовая доля сероводорода, %, не более	0,003				
3. Содержание свободной воды и щелочи	отсутствие				

2.6 Выбор основного оборудования

Реакция алкилирования изобутана олефинами в присутствии серной кислоты идет с выделением большого количества тепла, которое необходимо отводить и охлаждать систему. В данном случае применяется каскадный горизонтальный реактор, где отвод теплоты происходит за счёт испарения в реакционном пространстве некоторых компонентов, непосредственно участвующих в реакции, например, изобутана.

Данный реактор рассчитан на большой объём поступающего сырья, что в нашем случае играет большую роль. Также, при таком способе съёма теплоты, становится ненужным обеспечение большой поверхности теплообмена, что значительно упрощает конструкцию реактора, а также позволяет отказаться от использования посторонних хладагентов (аммиак, пропан), а это, в свою очередь, сокращает расходы на эксплуатацию установки.

Помимо этого каскадный реактор позволяет сократить расход серной кислоты примерно в два раза, а октановое число алкилата на 2 – 4 пункта выше, по сравнению с обычными одноступенчатыми контакторами.

Каскадный реактор представляет собой цилиндрическую ёмкость, разделённую на 3 – 6 секций. Они подразделяются на реакционные секции и секции отстоя.

Реакционные секции оснащены перемешивающими устройствами, как правило это пропеллерные мешалки, вращение которых происходит за счёт работы электродвигателя, который соединен с редуктором на валу мешалки, а вокруг мешалок изготовлено кольцо с соплами, из которых происходит равномерное распределение сырья в секции [1, 12].

Корпус снабжён штуцерами ввода и вывода кислоты, сырья и углеводородных паров, люками – лазами для обслуживающего персонала, а каждая секция снабжена L-образными переливными устройствами.

Характеристика теплообменника:

- диаметр кожуха 1200 мм;
- проходное сечение трубного пространства 3420 м²;
- проходное сечение межтрубного пространства 1870 м²;
- диаметр труб 20×2 мм;
- длина труб 9,0 м;
- количество труб 1701.

Предусмотрены различные варианты материального исполнения конструктивных элементов теплообменных аппаратов. Корпус аппарата изготавливают из сталей 16ГС или с защитным слоем из сталей 08Х13, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т. Схема расположения труб в трубных решетках и шаг отверстий для труб строго регламентируются. Для данного типа теплообменников трубы размещают в трубных решетках по вершинам равносторонних треугольников [7; 9].

3 Строительные решения

3.1 Выбор района строительства

Основное назначение строительного проектирования – поиск таких решений, которые при меньших материальных и трудовых ресурсах дают больший прирост производственных мощностей и увеличение объема производимой продукции.

Проектируемый нефтеперерабатывающий завод с глубокой переработкой нефти по топливному варианту планируется разместить поблизости города Тобольск, Тюменской области, исходя из следующих условий:

- удобная развязка автодорог, речной порт, железнодорожные пути и магистральный нефтепровод позволяет легко транспортировать сырье и реагенты на завод и отгружать готовую продукцию;

— в Тобольске расположен Тобольский индустриальный институт Тюменского государственного нефтегазового университета, который готовит квалифицированные кадры на проектируемый завод;

— источниками тепловой энергии для проектируемого НПЗ являются собственные котельные и установки по использованию вторичных энергоресурсов;

— источником электроснабжения является собственная ТЭС, проектируемая в составе НПЗ. Для преобразования электрической энергии высокого напряжения, передаваемой от ТЭС, в энергию пониженного напряжения проектируются понижающие трансформаторные подстанции;

— источниками производственного водоснабжения служит вода реки Иртыш. Для хозяйственно – питьевого водоснабжения в качестве источника водоснабжения используют подземные воды, так как они требуют минимума затрат на обработку с целью доведения их качества до норм питьевой воды.

3.2 Объемно – планировочные решения

Объемно – планировочные решения зданий и сооружений должны обеспечивать возможность реконструкции и технического перевооружения производства, изменения технологических процессов и перехода на новые виды продукции.

В настоящее время широко применяются такие прогрессивные проектные решения, как блокировка зданий и сооружений различного назначения; применение универсальных типов зданий, использование эффективных строительных конструкций и материалов.

Объемно – планировочное решение любого промышленного здания зависит, прежде всего, от характера располагаемого в нем технологического оборудования.

Для размещения оборудования проектируем одноэтажные здания. В одноэтажных зданиях возможно более свободное размещение

технологического оборудования и перемещение его при модернизации технологического процесса.

Большое значение при проектировании имеет выбор конструктивной схемы здания. Как показывает практика, для одноэтажных промышленных зданий более целесообразна каркасная схема, при которой все нагрузки, возникающие в здании, воспринимает его несущий остов (каркас), образуемый вертикальными элементами (колоннами), на которые опираются конструкции покрытия и перекрытия [15]. Жесткость каркаса в продольном направлении обеспечивается заделкой колонн в фундаменты.

Здания в плане спроектированы прямоугольной формы, с пролетами одинаковой ширины b_m и одного направления, с одинаковым шагом колонн b_m , без перепада высот.

3.3 Конструктивные элементы зданий и сооружений

Все здания и сооружения независимо от материалов, из которых они выполнены, их назначения и внешнего вида состоят из конструктивных элементов, выполняющих определенные функции. К основным конструктивным элементам относятся: несущие, воспринимающие на себя основные нагрузки, возникающие в самом здании или сооружении, и внешние нагрузки (ветровая и снеговая нагрузки, сейсмические нагрузки), ограждающие, отделяющие одно помещение внутри здания или сооружения от другого, защищающие их от атмосферных воздействий и обеспечивающие в них необходимые температурные и звукоизоляционные условия, а также конструкции, совмещающие несущие и ограждающие функции. Основными элементами здания или сооружения являются: фундаменты, стены, отдельные опоры, перекрытия, крыша, перегородки, лестницы, окна и двери.

При выборе строительного материала для конструкций здания руководствуются требованиями прочности, долговечности, удобства возведения, стойкости к воздействиям атмосферной среды, эксплуатационным

воздействиям, огнестойкости. Основным материалом несущих конструкций промышленных зданий – железобетон. Железобетонные конструкции менее капиталоемкие, чем металлические. В условиях эксплуатации железобетонные конструкции также имеют преимущества перед металлическими, поскольку железобетон более устойчив к коррозии, хорошо сопротивляется действию огня при пожаре.

При проектировании производственных зданий следует обращать внимание на огнестойкость строительных конструкций. Здания и помещения взрывоопасных производств необходимо проектировать с применением легко сбрасываемых наружных ограждающих конструкций.

Фундамент здания принимаем в зависимости от характера действующих на фундамент усилий, несущей способности и глубины промерзания грунтов. Исходя из местных условий, принимаем ленточный фундамент из четырёх рядов сборных железобетонных блоков сечением 600х600 мм длиной 3000 мм, которые укладываются по монолитной железобетонной подушке высотой 400 мм, шириной 1200 мм. Глубина заложения фундамента 2800 мм. Фундамент поднимается на 250 мм над нулевой поверхностью. Между фундаментом и стеновой панелью укладывается гидроизоляционный слой.

Фундамент устанавливают в соответствии с продольными и поперечными осями плана установки. По конструкции фундамент под реактор является блочным. Четыре железобетонных сваи вбиваются в грунт, на которые устанавливается бетонная плита. Для сооружения фундамента применяется бетон марки не ниже 100. В качестве арматуры используют металлическую сетку. Фундамент, сданный под монтаж, должен быть освобожден от пробок, выступающей арматуры, поверхность фундамента не должна иметь пор, раковин, отслоений бетона и замасленных мест.

Стены зданий выполнены из железобетонных панелей 6000х1200х300 мм. Такие стены обладают улучшают качество и снижают вес здания.

Для защиты внутренних поверхностей конструкций от действия токсичных агрессивных веществ необходимо применять керамические плитки,

кислотоупорные штукатурки, масляные краски и тому подобные покрытия, легко поддающиеся чистке.

В помещениях, в которых работают с агрессивными и ядовитыми веществами (кислотами, щелочами), полы выполняют из химически стойких материалов, не способных сорбировать агрессивные вещества.

В производственном помещении предусматривают для проветривания открывающиеся створки (фрамуги) оконных переплетов или световых фонарей.

Ограждающие конструкции рассчитывают при проектировании на звукоизолирующую способность.

При проектировании нефтехимических предприятий с учетом группы производственных процессов предусматривают санитарно - бытовые помещения. Помещения для отдыха предусматривают из расчета 0,2 м² на одного работающего, но не менее 10 м². В состав санитарно-бытовых помещений входят гардеробные, душевые, умывальные, уборные, курительные, помещения для обработки, хранения и выдачи спецодежды, а также устройства питьевого водоснабжения.

Стены и перегородки гардеробных спецодежды, душевых, преддушевых, умывальных, уборных, помещений для сушки, обезвреживания спецодежды выполнены на высоту 2 м из материалов, допускающих их мытье горячей водой с примесями моющих средств. Стены и перегородки помещений выше отметки 2 м, а также потолки имеют водостойкое покрытие.

Бытовые помещения изолируют от производственных, особенно пожаро-, взрыво- и газоопасных.

Перегородки выполняются также из панелей, а нестандартные перегородки – кирпичные.

Покрытие зданий предназначено для защиты помещений от атмосферных воздействий. Покрытие состоит из несущей и ограждающей частей. В качестве покрытий применяются железобетонные панели. На плиты покрытия укладывается невентилируемая кровля, включающая в себя послойно снизу вверх: пароизоляцию; полужесткие минерало-ватные плиты; стяжку из

цементного раствора; три слоя рубероида на битумной мастике; гравий, втопленный в мастику.

Лестницы – металлические для подъёма на покрытие, для его эксплуатации и в случае возгорания.

Двери распашные, одно и двупольные, деревянные, размером по ширине 1500х2000 мм.

Ворота раздвижные деревометаллические, с калиткой для прохода людей. Размеры ворот 3600х3600 мм.

Полы имеют покрытия из мозаичной плитки на цементном растворе, который является стяжкой. Покрытие укладывается по бетонному основанию. Бетон – на уплотненный грунт.

В помещениях насосной и компрессорной устанавливаются деревянные окна размером 1461х1764 мм.

Работающим на предприятии должна быть обеспечена возможность перемещаться в здании по кратчайшим, удобным и безопасным путям.

Проектом предусмотрен один эвакуационный выход (дверь) из одноэтажного здания т.к. численность работающих во всех помещениях здания не превышает 50 человек. Ширина эвакуационного выхода из помещения установлена, в зависимости от числа эвакуируемых через выход, из расчета на 1 м ширины выхода (двери) в зданиях степени огнестойкости: I, II – не более 165 человек. Расстояние от любой точки помещения до ближайшего эвакуационного выхода из этого помещения в зданиях степеней огнестойкости I, II – 25 м. Коридоры разделены противопожарными перегородками 2–го типа на отсеки протяженностью 60 м.

3.4 Размещение основного оборудования

Оборудование установки сернокислотного алкилирования размещено на открытой промплощадке.

Всё технологическое оборудование (реактора, теплообменники, сепараторы, и т.д.) расположено на железобетонном фундаменте с учётом обвязки трубопроводами. Фундаменты укреплены сваями и оборудованы закладными болтами для крепления колонн.

Наружные этажерки, на которых располагают оборудование, содержащее ЛВЖ и ГЖ и сжиженные горючие газы, должны быть железобетонными.

Компоновку технологического оборудования выполняем исходя из следующих условий:

- ширина основных проходов по фронту обслуживания 2 м;
- рабочие проходы по фронту обслуживания машин (компрессоров, насосов, газодувок и т.п.) и аппаратов, имеющих ручное управление, шириной не менее 1,5 м;
- возможность проезда транспорта для ремонта оборудования, загрузки и выгрузки катализатора из реакторов гидроочистки и риформинга, и т.д.;
- металлические лестницы к площадкам по высоте колонн и реакторов выполнены шириной 0,9 м;
- проходы между аппаратами, а также между аппаратами и стенами помещения не менее 1 м;
- проходы у оконных проемов, доступных с уровня пола или площадки не менее 1 м.

4. Генеральный план и транспорт

4.1. Характеристика района и промплощадки предприятия

При разработке генерального плана учитываются следующие основные требования:

- объединение отдельных производств и вспомогательных служб с учетом их технологической связи, взрыво- и пожароопасности производств и характера выделяемых ими вредностей;

— определение безопасных разрывов на основе санитарной классификации и категории производства по взрывной и пожарной опасности с учетом возможного изменения технологии и реконструкции отдельных цехов и установок;

— локализации неблагоприятных производственных факторов, для предупреждения распространения шума, вредных и опасных пыли-, паро- и газовых выделениях при авариях, а также огня при пожаре и ограничения разрушающего действия воздушной ударной волны при взрывах;

— обеспечение естественного проветривания территории и исключение застойных зон и скопления в них вредных и опасных выделений с учетом рельефа местности, направлении и скорости ветра [16].

Проектируемый нефтеперерабатывающий завод с глубокой переработкой нефти по топливному варианту планируется разместить поблизости города Тобольск, в Тюменской области.

Климат региона строительства – континентальный. Среднегодовая температура составляет $+0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднегодовая скорость ветра $2,9\text{ м/с}$, среднегодовая влажность воздуха 75% .

Климатические условия самого холодного периода:

- средняя минимальная температура воздуха: -17°C ;
- абсолютная минимальная температура: $-51,8^{\circ}\text{C}$;
- максимальная из средних скоростей ветров в январе: $3,5\text{ м/сек}$;
- преобладающее направление ветра в декабре– феврале: Ю – В;
- глубина промерзания грунта: $1,50\text{ –}2,30\text{ м}$.

Климатические условия самого тёплого периода:

- средняя максимальная температура воздуха: $+18^{\circ}\text{C}$;
- абсолютная максимальная температура воздуха: $+37^{\circ}\text{C}$;
- преобладающее направление ветра в июле – августе: С.

Здания размещены таким образом, чтобы вредные вещества, выделяемые в процессе производства, не оказывали отрицательного воздействия на рабочих и не привели к аварийным ситуациям. В таблице 4.1 представлена информация

о повторяемости направлений ветра и штилей в городе Тобольск в течение каждого месяца и на протяжении всего года.

Таблица 4.1 —Повторяемость (%) направлений ветра и штилей

Направл.	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек	Год
С	9	10	13	14	22	24	27	25	17	12	9	7	16
СВ	2	2	2	5	7	9	10	6	5	3	2	2	5
В	14	14	12	11	11	11	11	9	12	7	8	11	11
ЮВ	21	20	16	12	9	9	10	8	12	10	14	19	13
Ю	18	15	14	12	9	9	8	9	11	16	19	17	13
ЮЗ	17	16	18	17	13	10	8	12	16	22	21	22	16
З	11	12	13	16	14	13	11	16	16	19	18	14	14
СЗ	8	11	11	12	15	15	15	15	12	11	9	8	12
Штиль	8	9	10	7	8	9	13	15	11	7	5	5	9

4.2 Размещение установки на генеральном плане

Секция сернокислотного алкилирования включает в себя: наружную установку (технологическое оборудование); здания насосной и компрессорной.

Здания размещены таким образом, чтобы вредные вещества, выделяемые в процессе производства не оказывали отрицательного воздействия на рабочих.

Для исключения или уменьшения заноса вредных и опасных веществ в жилой район ветрами других направлений, отличающихся от преобладающего, между предприятием и городом предусмотрена санитарно – защитная зона не менее 2000 м.

4.3 Присоединение установки к инженерным сетям

По территории НПЗ проложено значительное число трубопроводов и инженерных сетей (сетей водопровода и канализации, кабельных сетей автоматики и КИП). При разработке генерального плана проектом

предусмотрено прохождение инженерных сетей по кратчайшему направлению и разделение их по назначению и способам прокладки.

Технологические трубопроводы и инженерные сети размещены в полосе, расположенной между внутривозовскими автодорогами и границами установок, а также в коридорах внутри кварталов. Подземные сети и коммуникации уложены в одну траншею с учетом сроков ввода в эксплуатацию каждой сети и нормативно установленных расстояний между трубопроводами.

4.4 Вертикальная планировка и водоотвод с площадки

Основными критериями рациональности планировки являются: обеспечение удобства технологических связей, улучшение условий строительства и заложения фундаментов.

При проведении вертикальной планировки проектом предусмотрено снятие (в насыпях и выемках), складирование и эффективное временное хранение плодородного слоя почвы, который затем используется по усмотрению органов, предоставляющих в пользование земельные участки.

Резервуарные парки и отдельно стоящие резервуары с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, сжиженными газами и ядовитыми веществами расположены на более низких отметках по отношению к зданиям и сооружениям. В соответствии с требованиями противопожарных норм эти резервуары обнесены земляными валами.

Для отвода поверхностных вод и аварийно разлившихся нефтепродуктов применяется смешанная система открытых ливнеотоков (лотков, кюветов, водоотводных канав) и закрытой промливневой канализации. Закрытая канализация используется на участках повышенной пожарной опасности. Поверхностные воды (дождевые и талые) с территории предприятия направляются в пруды – накопители.

4.5 Транспорт

При разработке проекта генерального плана промышленной площадки проработаны вопросы внешнего и внутреннего транспорта. Внешним транспортом НПЗ являются железные и автомобильные дороги, связывающие предприятие с путями сообщения общего пользования; к внутреннему транспорту относятся транспортные устройства, расположенные на территории завода.

Особенностью НПЗ является полное отсутствие внутризаводских железнодорожных перевозок. Железнодорожные пути используются только для отгрузки готовой продукции и приема реагентов, тары и сырья. Поэтому сеть железных дорог на территории предприятия концентрируют, группируя на генеральном плане объекты, которые обслуживаются железной дорогой.

Чтобы создать условия безперегрузочного выхода на общероссийскую сеть железных дорог, железнодорожные пути НПЗ спроектированы с шириной колеи 1520 мм (нормальная колея).

Внутризаводские автодороги в зависимости от назначения подразделяются на магистральные, межцеховые, производственные, проезды и подъезды. Магистральные дороги обеспечивают проезд всех видов транспортных средств и объединяют в общую систему все внутризаводские дороги.

Производственные дороги служат для связи установок, цехов, складов и других объектов предприятия между собой и магистральными дорогами. По этим дорогам перевозят строительные грузы. Проезды и подъезды обеспечивают перевозку вспомогательных и хозяйственных грузов, проезд пожарных машин.

Внутризаводские дороги спроектированы прямолинейными. Проектом предусмотрено расстояние от внутризаводской автодороги до зданий и сооружений не менее 5 м. В пределах обочины внутризаводских автодорог

проектом допускается прокладка сетей противопожарного водопровода, связи, сигнализации, наружного освещения и силовых электрокабелей.

Ширина магистральных дорог до 6 м, а межцеховых до 4 м.

4.6 Благоустройство и озеленение промышленной площадки

Создание насаждений на фабрично – заводских территориях является одним из основных мероприятий по их благоустройству и, следовательно, по улучшению условий труда рабочих и служащих промышленных предприятий.

По нормам проектирования промышленных предприятий площадь озеленения составляет не менее 15 – 20 % площади территории предприятия.

Для озеленения площадки предприятия проектом предусмотрено применение местных видов древесно – кустарниковых растений с учетом их санитарно – защитных и декоративных свойств и устойчивости к вредным веществам, выделяемым предприятием. Существующие древесные насаждения следует по возможности сохранять.

Площадь участков, предназначенных для озеленения в пределах ограды предприятия, определена из расчета не менее 3 м² на одного работающего в наиболее многочисленной смене.

Основным элементом озеленения предприятия является газон.

Проектом предусмотрены тротуары вдоль всех магистральных и производственных дорог независимо от интенсивности пешеходного движения. Пешеходные тротуары размещают не ближе 2 м от бордюра автодороги. Тротуары отделяют от проезжей части полосой зеленых насаждений в виде газонов, кустарниковой изгороди. Ширину тротуара принимают кратной ширине полосы движения равной 0,75 м.

Размещаемые в предзаводской зоне объекты административно-хозяйственного назначения защищены от вредного влияния паров, газов, пыли полосой зеленых насаждений.

5 Безопасная эксплуатация установки

5.1 Основные опасности производства

Технологические процессы на установке относятся к взрывопожароопасному производству, вследствие ведения технологического процесса при наличии горючих и взрывоопасных продуктов.

Кроме того, опасность производства возрастает в связи с использованием едкого вещества – раствора щелочи 10 ÷ 15 % при осуществлении щелочной промывки на установке, использованием для привода насосного оборудования электроэнергии высокого напряжения, возможностью продуктов накапливать заряды статического электричества при транспортировке.

Несоблюдение требований безопасности при пуске и остановке оборудования, выводе их в резерв, ведении технологического процесса, выполнении регламентных производственных операций, выполнении газоопасных работ, выполнении слесарных работ, обслуживании и эксплуатации оборудования и коммуникаций может привести к травмированию и отравлению обслуживающего персонала, взрывам и пожарам.

Наиболее опасными местами на установке является товарный парк установки, блок подготовки сырья, реакторный блок, блок охлаждения, блок депропанализации, блок промывки, блок деизобутанизации, блок дебутанизации, места отбора проб для лабораторных анализов, колодцы, пространство внутри технологического оборудования и аппаратов (при проведении ремонтных работ).

Конструктивное оформление технологического процесса, его оснащение системами контроля и управления, наличие необходимых сигнализаций, обеспечение необходимой герметизации оборудования, исключение непосредственного контакта технологического персонала с исходными материалами в процессе работы, знание и строгое соблюдение обслуживающим персоналом правил и инструкций промышленной безопасности и охраны труда,

пожарной безопасности, промышленной санитарии гарантируют безопасность работающих и безаварийное ведение технологического процесса.

Алкилбензин, сжиженный углеводородный газ, раствор щелочи и серная кислота, обращающиеся в технологическом процессе, являются вредными, взрывопожароопасными веществами, способными образовывать в смеси с воздухом взрывоопасные и опасные для здоровья концентрации, вытеснять кислород из воздуха атмосферы рабочей зоны, скапливаться в низких и заглубленных местах.

В аварийных ситуациях, в результате которых возможно возгорание, образование взрывоопасных смесей и загазованность аппаратного двора, технологический персонал установки должен руководствоваться планом локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

5.2 Методы и средства защиты от производственных опасностей

Условия, при которых работает обслуживающий персонал установки, являются вредными.

На работу допускаются лица не моложе 18 лет, предварительно прошедшие медицинское освидетельствование. На применяемые и получаемые вредные нефтепродукты и вещества установлены по санитарным нормам предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны.

Согласно каталогу бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам, обслуживающий персонал обеспечивается спецодеждой, спецобувью, наушниками противoshумными, защитной каской, защитными закрытыми очками, перчатками, при выполнении работ на высоте предохранительными поясами и средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) – личным противогазом.

К средствам защиты от поражения электрическим током относятся оградительные устройства, токоизолирующие устройства, устройства защитного заземления и зануления, молниеотводы и разрядники, устройства дистанционного отключения электродвигателей. К средствам защиты от статического электричества относятся заземляющие устройства и антиэлектростатические покрытия [26].

К средствам защиты от воздействия химических факторов относятся следующие устройства: герметизирующие, дистанционного управления, знаки безопасности, приточная и вытяжная вентиляция.

Для защиты от воздействия химических факторов на фланцевых соединениях трубопроводов перекачивающих кислоту и щелочь устанавливаются защитные кожуха. В зонах, где присутствует серная кислота, и щелочь расположены комбинированные аварийные души и фонтанчики для промывки глаз [17; 25; 27].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте была спроектирована установка сернокислотного алкилирования производительностью 250 тыс. тонн/год. Были решены следующие задачи: выбрана нефть для переработки, разработана технологическая схема по варианту «Топливная с глубокой переработкой нефти», изложено технико – экономическое обоснование выбранной схемы, рассчитано и подобрано (из стандартных) технологическое оборудование, дано подробное описание установки, сырья и продуктов, принято решение о месторасположении предприятия, описан генеральный план и характеристика промышленных площадок.

В заключение можно сделать вывод о том, что установка сернокислотного алкилирования необходима для нефтеперерабатывающего завода, так как она выполняет технологические функции, увеличивающие глубину переработки сырья, даёт возможность получить более безопасные компоненты качественного высокооктанового бензина, особенно в условиях возрастающего спроса на данный продукт.

Вовлечение нефтезаводских олефинов в химическую переработку с целью дополнительного получения моторных топлив является актуальной задачей отечественной и мировой нефтепереработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Ахметов, С. А. Лекции по технологии глубокой переработки нефти в моторные топлива: Учебное пособие/ С. А. Ахметов — Санкт - Петербург: Недра, 2007. — 312 с;

2 Андриевская, Н.В. Разработка поточной технологической схемы и материального баланса НПЗ и НХЗ на базе нефтей Восточной Сибири: Учебное пособие к курсовому (дипломному) проектированию / Н. В. Андриевская, Б. В. Поляков – Красноярск: СибГТУ, 2011. – 48 с;

3 Кузнецов, А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности: Учебник для вузов/ А. А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков; 2–е изд., пер. и доп. — Ленинград: Химия, 1974. — 343 с;

4 Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): Учебное пособие для вузов/ П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк; 3–е изд., испр. — Санкт - Петербург: ХИМИЗДАТ, 2010.– 544 с;

5 Майерс, Р. А. Основные процессы нефтепереработки: Справочник / Р.А. Майерс. – Санкт - Петербург: Профессия, 2011. – 926 с;

6 Солодова, Н.Л. Алкилирование изопарафинов олефинами: Учебное пособие / Н.Л. Солодова, А.И. Абдуллин, Е.А. Емельянычева; Министерство образования и науки России, Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2014. – 96 с;

7 Банных, О. П. Основные конструкции тепловой расчеттеплообменников: Учебное пособие / О. П. Банных; Санкт - Петербург : НИУ ИТМО, 2012. – 42 с.

8 Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский, Г. С. Борисов, В. П. Брыков.;—Москва : Химия, 1991. – 496 с;

- 9 Маньковский, О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Справочник / О. Н. Маньковский;—Москва : Химия, 1991. – 496 с;
- 10 Гельперин, Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : Учебное пособие / Н. И. Гельперин; Москва: Химия, 1981. – 384 с;
- 11 Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебник / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков., А. А. Носков; — Ленинград : Химия, 1987.—575 с;
- 12 Штербачек, З. А. Перемешивание в химической промышленности: Учебное пособие / Пер. с чешск./ Под ред. Павлушенко А. И.— Ленинград: Госхимиздат, 1989.— 415 с;
- 13 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебное пособие /А. Г. Касаткин; — Москва : Химия, 1973. — 752с;
- 14 Альперт, Л. З. Основы проектирования химических установок: Учебное пособие / Л. З. Альперт — Москва : Высшая школа, 1989. —304 с;
- 15 Каплан, И. З. Инженерная подготовка территорий строительства: Учебник / И. З. Каплан— Москва: Стройиздат, 1961.—115 с;
- 16 Родионовская, И. С. Генеральные планы промышленных сооружений: Учебное пособие / И. С. Родионовская; — Москва : Химия, 1994.—217с;
- 17 СНиП II-89-80* Генеральные планы промышленных предприятий (с Изменениями и дополнениями) – Введ. 01.01.1982. – Москва : Стандартинформ. – 52 с;
- 18 Алиев, М. Г. Техника безопасной эксплуатации крупнотоннажных установок переработки нефти: Учебное пособие для рабочего образования / М. Г. Алиев;— Москва : Химия, 1986.—144с;
- 19 Везирова, Н.Р. Тенденции развития отрасли / Н. Р. Везирова // Химическая технология; — 2001.—№10. — с. 10–12;

- 20 Каминский, Э. Ф. Перспективные технологии производства автомобильных бензинов с улучшенными экологическими характеристиками / Э.Ф. Каминский, В.А. Хавкин. – Москва : ЦНИИТЭнефтехим, 1995. – 55 с;
- 21 Эмирджанов, Р.Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке: Учебное пособие для учащихся вузов и рабочего образования / Р. Т. Эмирджанов; Москва : Химия, 1965. – 544с;
- 22 Эмирджанов, Р.Т. Основы технологических расчетов нефтепереработки и нефтехимии: Учебное пособие для вузов / Р. Т. Эмирджанов, Р. А. Лемберанский – Москва : Химия, 1998. – 192 с;
- 23 Дубовкин, Н.Ф. Справочник по углеводородным топливам и их продуктам сгорания: Справочник / Н. Ф. Дубовкин; Москва, Госэнергоиздат, 1962. – 228 с;
- 24 Мариненко, О. В. Теплофизические свойства веществ: Справочник / О. В. Мариненко; Москва, Госэнергоиздат, 1956. – 367 с;
- 25 ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 01.01.1976. – Москва : Стандартиформ;
- 26 ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. – Введ. 01.07.1982. – Москва : Стандартиформ;
- 27 Лазарева, Н. В. Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. В 3-х томах / Под ред. Н.В. Лазарева, Э.Н. Левиной – Т. 1-2. – Ленинград : Химия, 1976. – 1216 с;
- 28 СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – 59 с.