МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
«ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И СЕРВИСА»

Кафедра специальной химической технологии

К ЗАЩИТЕ ДОПУЩЕНА
Зав. кафедрой, профессор,
доктор хим. наук
_____Р.В. Кунакова

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА МОНОМЕРОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Выпускная квалификационная работа
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 18.03.01 Химическая технология
профиль «Технология производства химических волокон и композиционных материалов»

Студент гр. БХТз-15-01 И.Ю. Галиаскаров

Руководитель - канд. хим. наук,
доц. каф. СХТ З.С. Самигуллина

Нормоконтроль - канд. хим. наук,
доц. каф. СХТ З.С. Самигуллина

Уфа 2020

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Реферат

Бакалаврская работа, XX листа, 11 рисунков, 3 таблицы, 25 источников, 1 приложение.

ДИХЛОРЭТАН, ПОЛИВИНИЛХЛОРИД, ЭТИЛЕН, ХЛОР, ЖИДКОФАЗНОЕ ХЛОРИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ, РЕАКТОР ХЛОРИРОВАНИЯ.

Выпускная квалификационная работа по теме «Модернизация отделения производства мономеров для синтеза поливинилхлорида».

Объект исследования – установка по производству 1,2-дихлорэтана АО «Башкирская содовая компания»

Цель: совершенствование организации технологического процесса получения 1,2-дихлорэтана и увеличение мощности производства.

Задачи:

1 исследование технологий производства 1,2–дихлорэтана, отвечающих всем современным требованиям безопасности и энергоэффективности;

2 расчет параметров технологических потоков и оборудования для реализации выбранной технологии производства 1,2–дихлорэтана

3 оценка опасности и уровня экологизации производства;

В выпускной квалификационной работе рассмотрена возможность расширения производства 1,2-дихлорэтана – исходного сырья для производства поливинилхлорида – с учетом современных требований по экологичности и безопасности нефтехимических производств.

Содержание

Введение.....5
1 Литературный обзор.....6
1.1 Производство 1,2-дихлорэтана.....6
1.1.1 Получение 1,2-дихлорэтана прямым хлорированием этилена.....6
1.1.2 Получение 1,2-дихлорэтана окислительным хлорированием этилена.....11
1.2 Применение 1,2-дихлорэтана.....14
2 Технология производства 1,2-дихлорэтана.....17
2.1 Хлорирование этилена и очистка абгазов.....19
2.2 Ректификация 1,2-дихлорэтана.....23
2.3 Характеристика сырья и готовой продукции.....24
2.4 Очистка газовых выбросов от 1,2-дихлорэтана.....27
2.5 Химизм, параметры проведения процесса.....28
3 Технологический расчет.....31
3.1 Материальный баланс узла хлорирования этилена.....31
3.2 Тепловой баланс узла хлорирования этилена.....34
3.3 Определение основных размеров реактора.....36
4 Безопасность жизнедеятельности.....39
4.1 Основные опасности производства.....39
4.2 Производственная санитария.....42
4.3 Коллективные и индивидуальные средства защиты.....43
4.4 Пожарная безопасность.....44
4.5 Электробезопасность и защита от статического электричества.....46
Заключение.....47
Список используемых источников.....48

Введение

Хлорорганические продукты занимают важное место в нефтехимической промышленности. Они широко используются в производстве полимеров и синтетических смол, электронной и металлообрабатывающей промышленности, в производстве бытовой химии, в других отраслях промышленности (растворители, хладагенты) [35].

В современной промышленности используется два основных метода производства хлорпроизводных углеводородов: хлорирование и гидрохлорирование. При взаимодействии хлора с олефинами прежде всего образуются дихлорпроизводные; из этих соединений в наибольших количествах производится дихлорэтан.

Стойкость дихлорэтана против окисления дает возможность применять его в тех случаях, когда особенно важно отсутствие продуктов разложения и постороннего запаха после отгонки растворителя. При всех процессах, сопряженных с пожарной опасностью (процессы экстракции), связанных с продолжительным нагревом, дихлорэтан является заменителем бензина. Сравнительно низкая температура кипения и высокая летучесть дихлорэтана позволяют легко и полностью удалять его как из экстрагированного продукта, так и из остаточного материала.

Производство дихлорэтана является одним из важнейших факторов в производственной цепи получения полимеров, конечная цель которого получение полимерных и синтетических материалов (пластмасс), без которых нельзя представить жизнь современного общества [35].

Таким образом, цель выпускной квалификационной работы: совершенствование организации технологического процесса получения 1,2-дихлорэтана и увеличение мощности производства.

Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи:

1 исследование технологий производства 1,2–дихлорэтана, отвечающих всем современным требованиям безопасности и энергоэффективности;

2 расчет параметров технологических потоков и оборудования для реализации выбранной технологии производства 1,2–дихлорэтана

3 оценка опасности и уровня экологизации производства.

1 Литературный обзор

1.1 Производство 1,2-дихлорэтана

1,2-Дихлорэтан находит широкое применение в различных отраслях промышленности в качестве растворителя, а также полупродукта в производстве других ценных хлорорганических продуктов, например винилхлорида [35].

1,2-Дихлорэтан может быть получен следующими способами.

– хлорированием этилена в газовой, жидкой фазе в присутствии катализатора:

$CH_2=CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl–CH_2Cl$

– хлорированием этана в газовой фазе:

$CH_3–CH_3 + 2Cl_2 \rightarrow CH_2Cl–CH_2Cl + 2HCl$

– окислительным хлорированием этана или этилена в газовой фазе на катализаторе Дикона:

$CH_2=CH_2+2HCl+ 0,5O_2 \rightarrow CH_2C1\text{-}CH_2C1+H_2O$

В промышленности 1,2-дихлорэтан получают двумя методами: прямым хлорированием этилена в жидкой фазе в присутствии катализатора ($FeCl_3$), окислительным хлорированием этилена в паровой фазе на катализаторе Дикона.

1.1.1 Получение 1,2-дихлорэтана прямым хлорированием этилена

Этот способ является наиболее распространенным в промышленности.

Процесс хлорирования этилена относится к ионно-каталитическому галогенированию. Первоначально галогенирование олефинов и, в частности, этилена проводили в газовой фазе. Процесс в этих условиях протекает по радикально-цепному механизму. Однако впоследствии было обнаружено, что с появлением жидкой фазы процесс резко ускоряется и протекает в растворе. При этом изменяется и механизм реакции [35].

При пропускании исходных реагентов (этилена и хлора) через жидкую фазу, которой обычно является продукт реакции, легко осуществляется присоединение хлора по двойной связи с получением 1,2-дихлорэтана:

$CH_2=CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl–CH_2Cl$

Эта реакция протекает достаточно быстро даже при низких температурах. Но еще больше она ускоряется катализаторами типа апротонных кислот (например $FeCl_3$).

При достаточно низких (до 30 °С) температурах хлор присоединяется почти исключительно по двойной связи, а при более высоких температурах увеличивается выход продуктов заместительного хлорирования. Соотношение подаваемых реагентов также влияет на выход продуктов заместительного хлорирования [35].

При хлорировании в жидкой фазе классический ион карбония, очевидно, не образуется, и положительный заряд рассредоточивается по молекуле. Механизм процесса следующий: происходит электрофильное присоединение с промежуточным образованием π- и σ-комплексов. Определяющей скорость процесса, по-видимому, является стадия превращения π-комплекса. Протеканию процесса аддитивного хлорирования в малополярных средах благоприятствуют кислоты Льюиса. Как отмечалось ранее, в данном случае наиболее часто используется хлорид железа.

Технологическое оформление процесса

Учитывая, что основная реакция отличается высокой селективностью и скоростью, часто реагенты дополнительно не очищают (за исключением осушки), так как катализатором служит $FeCl_3$, который может гидролизоваться. Процесс осуществляют путем барботирования газообразных реагентов через жидкий продукт, содержащий катализатор (т. е. в жидкой фазе).

Раньше процесс проводили при низкой температуре (30 °С), чтобы избежать дальнейшего замещения. Однако в этом случае необходимость интенсивного отвода тепла лимитировала производительность реактора. Теперь процесс проводят в присутствии катализатора и ингибитора при более высоких температурах (70-100 °С) [35].

Катализатор может готовиться отдельно или получаться из специально уложенных в реакторе чугунных брусочков при воздействии хлора. Соотношение этилена и хлора берется близким к стехиометрическому. Небольшой избыток этилена (≈ 5%) необходим для обеспечения полного исчерпывания хлора.

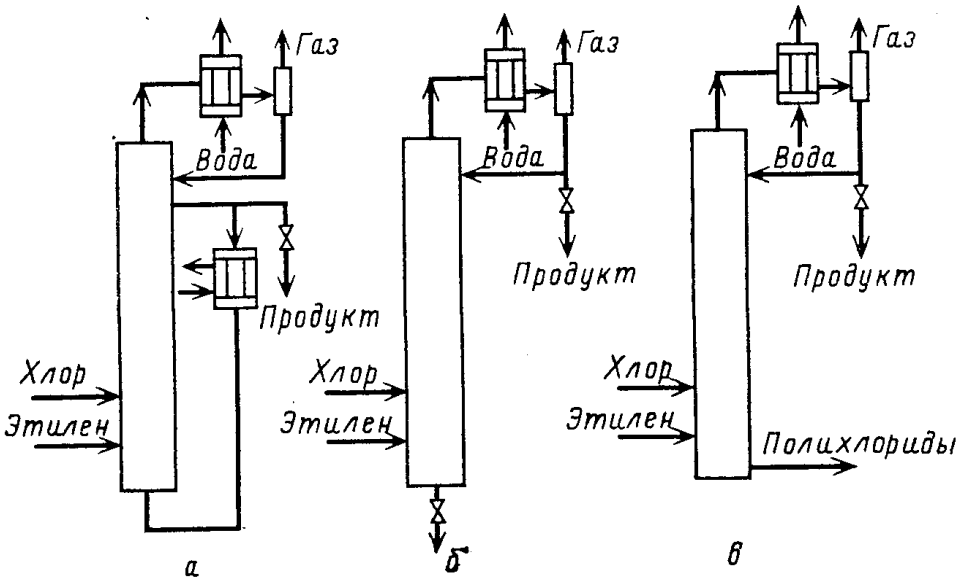


Рисунок 1 – Реакторные узлы для ионно-каталитического хлорирования этилена в жидкой фазе: а – с выносным охлаждением, б – с отводом тепла за счет испарения, в – с совмещением хлорирования и ректификации

Возможны три варианта оформления реакторного узла (рисунок 1). В первом случае (рисунок 1, а) реакция осуществляется в барботажной колонне, снабженной выносным и обратным холодильниками. В последнем конденсируются унесенные газами продукты хлорирования, конденсат возвращается в колонну, а газы выводятся из системы. Из верхней части колонны непрерывно выводится реакционная масса. Часть ее выводится из системы в виде продукта, а остальная часть, пройдя через холодильник, возвращается в колонну. Так как 1,2-дихлорэтан достаточно летуч, то значительная часть тепла отводится за счет его испарения.

Во втором варианте (рисунок 1, б) все тепло отводится за счет испарения 1,2-дихлорэтана. При этом часть конденсата выводится из системы в виде продукта, а остальная часть возвращается в колонну. В этом случае катализатор совсем не попадает в продукт, а остается в колонне. И, наконец, предложен совмещенный вариант (рисунок 1, в), по которому 1,2-дихлорэтан выводится из колонны, как и во втором варианте, а из куба колонны выводится трихлорэтан вместе с катализатором, В этом случае тепло реакции используется для разделения продуктов. Отходящие газы во всех вариантах оформления реакторного узла пропускают через воду для улавливания HCl. Жидкие продукты, выводимые из колонны в верх-

ней части (рисунок 1, а) и нижней части (рисунок 1, в), очищают от катализатора и подвергают ректификации [35].

В целом процесс получения 1,2-дихлорэтана прямым хлорированием этилена состоит из двух основных стадий: синтез 1,2-дихлорэтана и его очистки.

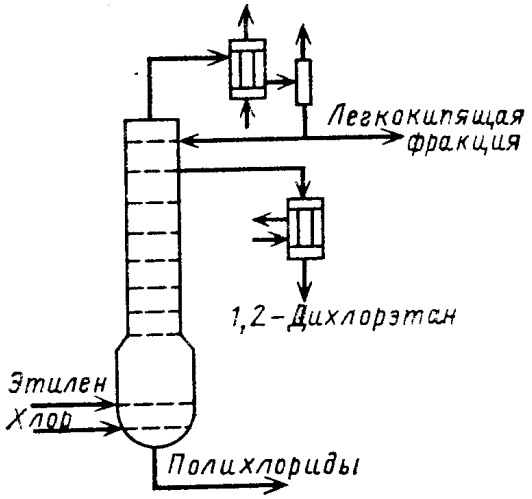


Рисунок 2 – Комплексный реактор для получения 1,2-дихлорэтана

В зависимости от способа отвода тепла процесс проводится с отбором продукта из паровой фазы (отвод тепла за счет испарения реакционной массы) или из жидкой фазы (отвод тепла за счет выносных теплообменников). В первом случае агрегат хлорирования представляет собой комплексный реактор (рисунок 2), у которого нижняя реакционная часть является полой и заполнена 1,2-дихлорэтаном, а верхняя часть может быть тарельчатой или заполнена насадкой и выполнять роль ректификационной колонны. Следовательно, в этом аппарате протекает совмещенный реакционно-массообменный процесс. Исходные реагенты (обезвоженные хлор и этилен) подаются по барботерам в низ реакторной части в соотношении, обеспечивающем избыток этилена 3-10 % (об.). Температура в реакционной части поддерживается 90-100 °С. Образующийся 1,2-дихлорэтан вместе с легкокипящими компонентами поступает в ректификационную часть реактора. Пары, выходящие из ректификационной части аппарата, конденсируются в конденсаторе, а неконденсируемые газы выводятся из системы. Конденсат частично возвращается в виде флегмы в верхнюю зону, а остальная часть подается в реакционную зону для снятия избыточной теплоты реакции. Товарный 1,2-дихлорэтан отбирается с глухой тарелки верха ректификационной части. Конденсат можно полностью воз-

вращать на орошение в колонну, а для отвода тепла направлять часть охлажденного дихлорэтана в реакционную зону. Из реакционной зоны постоянно или периодически выводится небольшое количество реакционной массы для исключения накопления полихлоридов. Из этой смеси на отдельной ректификационной колонне может быть выделен 1,2-дихлорэтан [35].

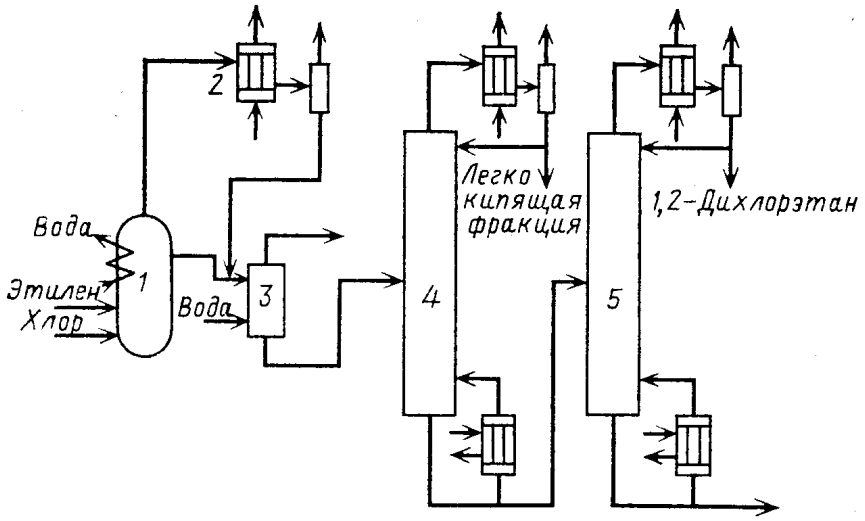


Рисунок 3 – Узел прямого хлорирования этилена в жидкой фазе.

Вариант, приведенный на рисунке 3, предусматривает отвод теплоты реакции за счет встроенного теплообменника. Сухие этилен и хлор подаются через барботеры в нижнюю часть пустотелого реактора 1, заполненного 1,2-дихлорэтаном. Процесс хлорирования протекает при 50-60 °С. Выходящий из реактора 1,2-дихлорэтан направляется на трехступенчатую отмывку от солей (кислотой, щелочью и водой) в комплекс аппаратов 3. Промытый 1,2-дихлорэтан направляется далее в ректификационную колонну 4 для отделения легкокипящих примесей. Кубовый продукт колонны 4 направляется в ректификационную колонну 5 для отделения 1,2-дихлорэтана (в виде дистиллята) от полихлоридов.

При прямом хлорировании этилена конверсия хлора близка к 100 %, а конверсия этилена зависит от его избытка и составляет 90-97 %. При этом выход дихлорэтана достигает более 99 %. При рассмотрении этих двух вариантов прямого хлорирования этилена предпочтение следует отдать первому (рисунок 2), так как в нем теплота реакции используется в колонне для отделения легкокипящих примесей и 1,2-дихлорэтана от полихлоридов, что приближает этот процесс к безотходному. Во втором же варианте (рисунок 3) тепло отводится водой. При этом по-

лучается подогретая вода, тепло которой может быть использовано с трудом, а при ректификации потребуется подводить тепло [35].

1.1.2 Получение 1,2-дихлорэтана окислительным хлорированием этилена

Причиной разработки процессов оксихлорирования явилась необходимость утилизации больших объемов отходящего газообразного хлорида водорода. Последний образуется в производствах хлорорганических продуктов во всех процессах заместительного хлорирования и дегидрохлорирования. Объединение стадий хлорирования и оксихлорирования позволяет создавать сбалансированные по хлору производства.

Основным способом проведения оксихлорирования является газофазный процесс с использованием катализаторов на носителях. В качестве катализаторов применяют соединения меди, щелочных, редкоземельных и некоторых других металлов (или их смесь) на пористых носителях разного состава и строения. Основой для процесса оксихлорирования послужил газофазный процесс окисления хлорида водорода, протекающий на катализаторах, содержащих хлорид меди (процесс Дикона). При совместном протекании реакций Дикона и хлорирования равновесие реакции сдвигается за счет расходования хлора, вследствие чего имеет место практически полное превращение HCl. Все рассмотренные реакции оксихлорирования практически необходимы в интересующем нас интервале температур. При этом хлорид меди остается основным катализатором окисления HCl и оксихлорирования. Для этого процесса Диконом была предложена следующая схема протекания процесса окисления HCl:

$2CuCl_2 \rightarrow Cu_2Cl_2 + Cl_{2\,(г.)}$,

$Cu_2Cl_2 + 0{,}5O_2 \rightarrow CuO \cdot CuCl_2$,

$CuO \cdot CuCl_2 + 2HCl_{\,(г.)} \rightarrow 2CuCl_2 + H_2O_{\,(г.)}$

В дальнейшем был предложен механизм образования 1,2-дихлорэтана при взаимодействии этилена с $CuC1_2$, в результате которого образуется восстановленная форма меди:

$2CuCl_2 + C_2H_4 \rightarrow C_2H_4C1_2 + Cu_2Cl_2$,

$Cu_2C1_2+2HCl + 0,5O_2 \rightarrow 2CuCl_2+H_2O$.

Таким образом, в случае окислительного хлорирования этилена при 210-280 °С происходит присоединение хлора по двойной связи, а не замещение. Причем установлено, что хлорирование осуществляется не хлором, а непосредственно $CuCl_2$, который регенерируется под действием HCl и O_2:

$CH_2=CH_2+2HCl+ 0,5O_2 \rightarrow CH_2C1-CH_2C1+H_2O$,

$CH_2=CH_2+2\ CuCl_2 \rightarrow CH_2C1-CH_2C1 + Cu_2Cl_2$,

$Cu_2Cl_2+2HCl+0,5O_2 \rightarrow 2CuCl_2+H_2O$

При этом кислород окисляет Cu_2Cl_2 в оксохлориды меди (II), которые в присутствии HCl переходят в $CuCl_2$.

В данном случае катализаторы готовят пропиткой носителя (пемза, корунд, алюмисиликат) солями с последующей сушкой. Их основным компонентом является хлорид меди (II), к которому добавляют KI для снижения летучести за счет образования комплексов с $CuCl_2$. Добавляются также различные модификаторы, например соединения редкоземельных элементов [35].

Очень высокая экзотермичность процесса требует организации отвода тепла в реакторе. Если используется реактор с псевдоожиженным слоем катализатора, то в него подают холодные реагенты, а избыток тепла отводится с помощью внутреннего теплообменника за счет испарения парового конденсата. В кожухотрубных реакторах со стационарным слоем катализатора тепло отводится также за счет испарения водного конденсата, подаваемого в межтрубное пространство [35].

В качестве окислителя используют кислород воздуха (тогда воздух подается при давлении 0,3-1,0 МПа) или чистый кислород, что позволяет лучше организовать рециркуляцию непрореагировавших веществ. Кислород для окисления HCl обычно подается с небольшим избытком (≈ 5%) по отношению к стехиометрическому. При этом конверсия HCl и кислорода достигает 80-90 %, а 2-5 % этилена сгорает в CO_2.

Технологическое оформление процесса

Таким образом, процесс получения 1,2-дихлорэтана окислительным хлорированием этилена состоит из двух основных стадий: синтеза 1,2-дихлорэтана и его выделения. При этом в реакторе наблюдается совмещение двух реакций в одном аппарате (реакторе). Одна реакция направлена на получение целевого продукта 1,2-дихлорэтана, а другая позволяет регенерировать катализатор, а именно превращать, неактивную форму Cu_2Cl_2 в активную форму $CuCl_2$ в присутствии HCl и O_2.

Суммарный процесс оксихлорирования может проводиться в реакторе со стационарным слоем катализатора (соли меди, нанесенные на оксид алюминия или алюмосиликат) — трубчатом реакторе или в реакторе с псевдоожиженным слоем катализатора. В первом случае тепло отводится за счет испарения водного конденсата, подаваемого в межтрубное пространство, а во втором случае — также за счет испарения водного конденсата, но подаваемого во встроенный теплообменник [35].

Технологическая схема процесса представлена на рисунке 4.

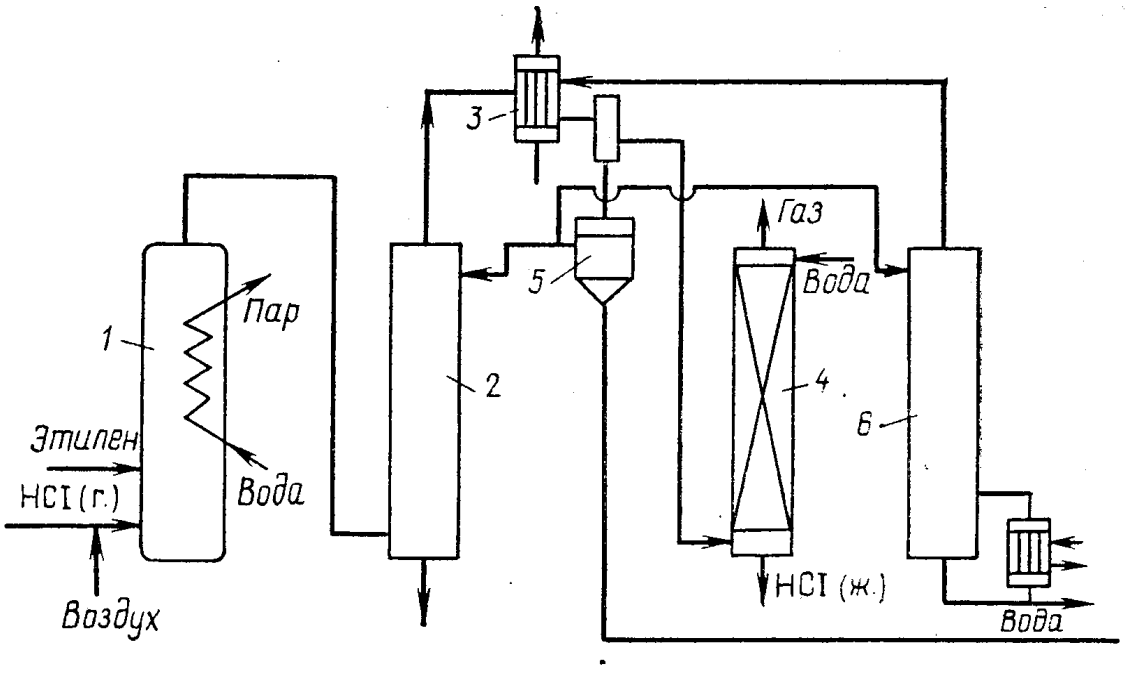


Рисунок 4 – Узел оксихлорирования этилена в паровой фазе

В реактор 1 (с псевдоожиженным слоем катализатора) подаются этилен, HCl и воздух (или кислород) в соотношении, обеспечивающем 3-5%-й избыток

этилена (по объему). Температура в реакторе поддерживается в пределах 210-260 °С. Выходящие из реактора реакционные газы содержат пары 1,2-дихлорэтана, полихлориды, реакционную воду, хлорид водорода и инертные газы. Они поступают в закалочную колонну 2, в которой происходит охлаждение парогазовой смеси и удаление из нее непрореагировавшего хлорида водорода и инертных газов. При этом пары конденсируются в конденсаторе 3. Хлорид водорода с инертными газами поступает в абсорбер 4,орошаемый водой, для улавливания хлорида водорода. Конденсат поступает во флорентийский сосуд 5. Водный слой из флорентийского сосуда возвращается частично в закалочную колонну, а остальная часть направляется на очистку от 1,2-дихлорэтана в колонну гетероазеотропной ректификации 6. Из куба этой колонны фузельная вода направляется на очистку, а пары колонны – в конденсатор 3. Нижний слой (1,2-дихлорэтан-сырец) флорентийского сосуда 5 промывается раствором щелочи и водой в колоннах отмывки 7 и 8 от хлораля, образовавшегося в процессе оксихлорирования за счет побочной реакции. Далее 1,2-дихлорэтан поступает в ректификационную колонну 9 для отгонки легколетучих примесей. И, наконец, в ректификационной колонне 10 1,2-дихлорэтан отделяется от полихлоридов [35].

В этом процессе конверсия этилена составляет ≈ 95 %, хлорида водорода – ≈ 99 %; выход 1,2-дихлорэтана – ≈ 97 %.

Преимущество этого метода обусловлено тем, что в основном аппарате наблюдается меньшая коррозия за счет проведения процесса в паровой фазе и регенерируется теплота реакции с получением технического пара. Вместе с тем образуется много отходов в колоннах отмывки 7 и 8 и закалочной колонне 2, а также получается разбавленная хлороводородная кислота в абсорбере 4.

Следовательно, с точки зрения создания безотходного производства этот способ не может конкурировать с прямым хлорированием этилена.

1.2 Применение 1,2-дихлорэтана

Дихлорэтан широко применяется для так называемой сухой очистки тканей, металлов, мехов и удаления пятен, он также вводится в состав различных эмуль-

сий и моющих средств для повышения их моющей способности и удаления жиров с очищаемой поверхности.

По применению дихлорэтана в смеси с другими растворителями имеется большая патентная литература, свидетельствующая о возможности разнообразного использования этого ценного продукта.

В России вследствие токсичности дихлорэтана применение его в качестве растворителя в последнее время несколько сократилось [35].

Дихлорэтан является не только конечным продуктом, но и полупродуктом для получения ряда ценных органических веществ. Значительное количество дихлорэтана расходуется, например, для производства тетраэтилсвинца. Из дихлорэтана получают этиленгликоль по реакции:

$$C_2H_4C1_2 + Na_2CO + H_2O \rightarrow C_2H_4(OH)_2 + 2NaCl + CO_2$$

Этилендиамин образуется при взаимодействии дихлорэтана с аммиаком при температуре 120°С и повышенном давлении

$$C_2H_4C1_2 + 4NH_3 \rightarrow C_2H_4NH_2 + 2NH_4C1$$

Тиокол (резинит) – полисульфидный каучук – получают поликонденсацией дихлорэтана с тетрасульфидами натрия, резиновые изделия, получаемые из тиоколов, очень устойчивы к действию масел и растворителей и мало поддаются окислению (старению) [35].

Главным образом дихлорэтан используется для получения винилхлорида, который при определенных условиях легко полимеризуется в поливинилхлорид. До настоящего времени применяют классический метод получения винилхлорида из дихлорэтана, открытый еще в 1835 г. Он основан на отщеплении хлористого водорода от дихлорэтана. Винилхлорид может быть легко получен также пиролизом дихлорэтана. Этот процесс длительное время разрабатывался как в СССР, так и за рубежом.

Выбор метода производства в работе обоснован тем, что получение дихлорэтана прямым хлорированием этилена в жидкой фазе базируется на простой и экономически выгодной технологии. Процесс ведут в жидкой фазе, в присутствии катализатора хлорного железа при температуре 84-102 °С. Благодаря этому достига-

ется безопасность процесса и увеличивается стабильность продукта [35]. Степень конверсии хлора в данном методе близка к 100 %, а конверсия этилена зависит от взятого избытка его и составляет 90-97 %. Выход 1,2-дихлорэтана более 99 %.

2 Технология производства 1,2-дихлорэтана

Основными видами сырья для производства дихлорэтана жидкофазным хлорированием этилена являются этилен и хлор. Производство дихлорэтана и состоит из следующих основных технологических стадий:

– хлорирование этилена;
– дохлорирование;
– отгонка хлористого водорода;
– ректификации дихлорэтана-сырца.

Поточная схема процесса производства дихлорэтана приведена на рисунке 5.

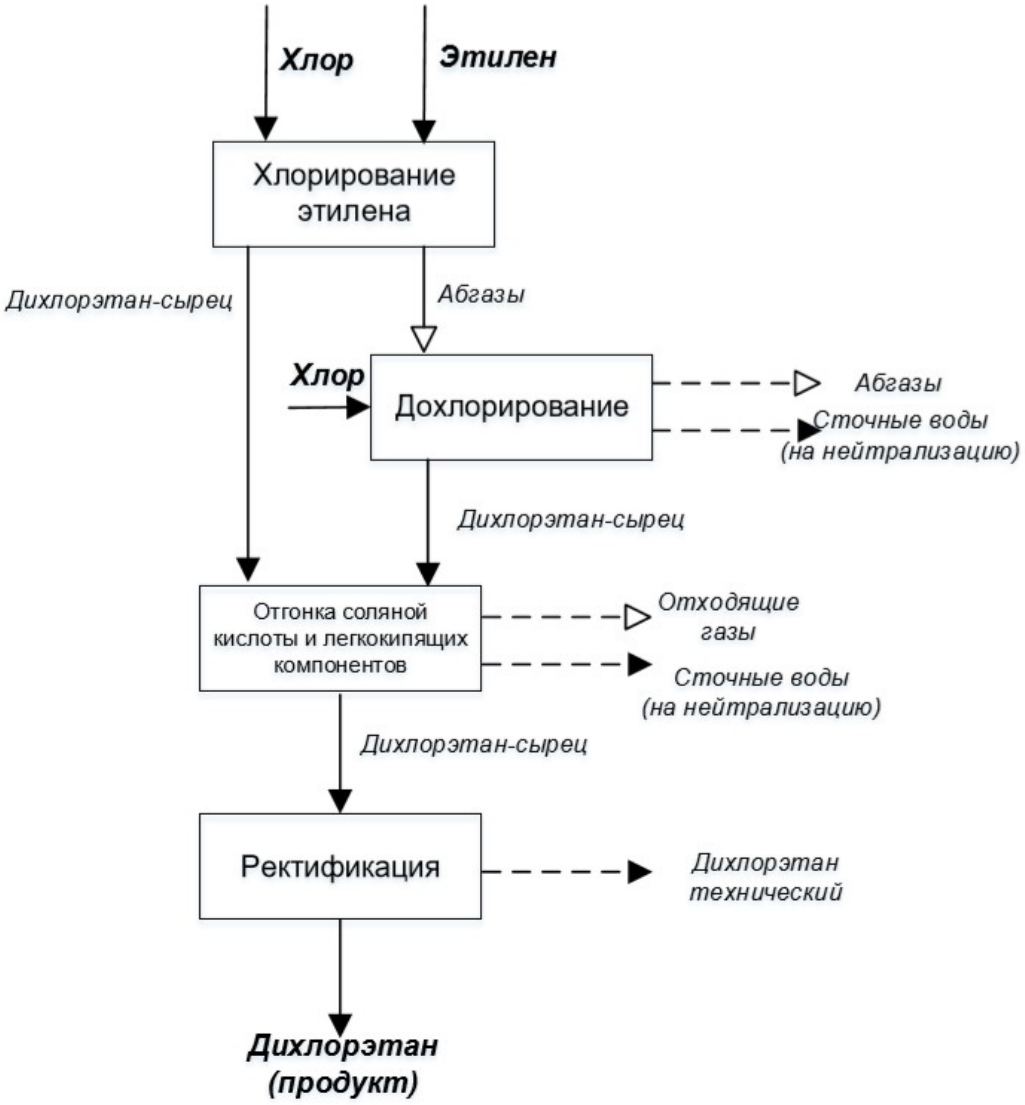


Рисунок 5 – Принципиальная схема производства дихлорэтана жидкофазным хлорированием этилена

Для проведения реакции хлорирования был выбран высокотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена. Также в производстве используются другие типы реакторов: низкотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена, вакуумный барботажный газлифтный реактор жидкофазного хлорирования этилена с выносным конденсатором и гидравлическим затвором.

Низкотемпературный реактор жидкофазного хлорирования

Главным достоинством низкотемпературного процесса является высокая селективность (99,8 %), объясняющаяся замедлением побочных реакций заместительного хлорирования при снижении температуры. К недостаткам низкотемпературного процесса относятся большой расход сточных вод на стадии очистки продукта от катализатора, значительный расход катализатора на единицу продукции, большие энергетические затраты на охлаждение реакционной массы и нерациональное использование теплоты реакции, поэтому от данной технологии было решено отказаться.

Вакуумный барботажный газлифтный реактор жидкофазного хлорирования этилена с выносным конденсатором и гидравлическим затвором.

Снижение абсолютного давления в реакторе позволяет понизить температуру кипения рабочей среды ниже 60 °С. Вследствие скорости побочных реакций уменьшаются и повышается селективность процесса. Высокий выход 1,2-ДХЭ 57 позволяет отказаться от дальнейшей ректификации и очистки от катализатора, что сократит выбросы отходов в окружающую среду. Главным недостатком является габаритность и дорогостоящее обслуживание установки, что также является критичным для проектирования производства в настоящих условиях.

Высокотемпературный реактор жидкофазного хлорирования этилена.

Важным преимуществом высокотемпературного процесса по сравнению с низкотемпературным является экономичность: выделяющееся тепло расходуется на испарение и ректификацию продуктов, сточные воды отсутствуют, расход катализатора минимален. Недостатком высокотемпературного процесса являются низкая селективность (98-99 %), связанная с увеличением скорости побочных реакций при росте температуры. Несмотря на этот недостаток, все преимущества

данного технологического решения налицо и было принято решение проектировать узел хлорирования этилена по данной технологии.

2.1 Хлорирование этилена и очистка абгазов

Сущность процесса хлорирования этилена – технологический процесс синтеза дихлорэтана осуществляется методом жидкофазного хлорирования этилена по реакции

$C_2H_4 + C1_2 \rightarrow C_2H_4C1_2 + 2449{,}48$ кДж/кг

Одновременно с основной реакцией протекает побочная реакция с образованием трихлорэтана:

$C_2H_4C1_2 + C1_2 \rightarrow C_2H_3C1_3 + HC1 + 1011{,}56$ кДж/кг

Реакции протекают в среде жидкого дихлорэтана при температуре 84-102 °С.

Газообразный этилен поступает по трубопроводу с давлением 0,8-1,2 МПа.

На вводе в цех этилен дросселируется до давления 0,5-0,9 МПа. Перед подачей в хлораторы этилен дросселируется до давления 0,15-0,25 МПа.

Газообразный (электролитический или абгазный) хлор с давлением 0,18-0,30 МПа поступает в буфер хлора – герметически закрытый сосуд предназначенный для приема абгазного или электролитического хлора из общезаводского коллектора. Буфер хлора снабжен рубашкой для обогрева в холодное время года.

На линии выхода хлора из буфера во фланцевое соединение установлены разрывные мембраны, которые предназначены для предотвращения повышения давления в буфере хлора и защиты предохранительных клапанов от коррозии.

После мембранного узла на линии хлора установлены два предклапана, один из которых – резервный. Для нейтрализации газов с предохранительных клапанов схемой предусмотрен нейтрализатор, который заполнен каустиком с массовой долей от 10 до 15 % NaOH.

Перед подачей в хлораторы хлор дросселируется до давления 0,15-0,25 МПа.

Хлор и этилен подаются каждый по своему барботеру в нижнюю часть хлоратора, который заполнен дихлорэтаном-сырцом. Хлораторы представляют собой вертикальные цилиндрические аппараты из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Внутри хлоратора установлено шесть перфорированных решеток для предотвращения вертикального перемешивания. В контуре хлоратор имеет циркуляционную трубу, которая предназначена для исключения уноса жидкого дихлорэтана из зоны реакции.

Режим хлорирования:

- давление хлора перед хлораторами 0,15-0,25 МПа;
- давление этилена перед хлораторами 0,15-0,25 МПа;
- объемный расход хлора в хлораторы 1200-3800 м^3/ч;
- объемный расход этилена в хлораторы 1200-3800 м^3/ч;
- температура в хлораторах 84-110 °С;
- уровень в хлораторах 55-80 %.
- давление абгазов на выходе с хлораторов не более 0,068 МПа.

Объемная доля хлора измеряется прибором типа «Поток». Хлор-газ после прохождения прибора «Поток» направляется в аппарат хемосорбции, который представляет из себя вертикальную трубу диаметром 150 мм и высотой 1600 мм со змеевиком, в который подается этилен для связывания хлора. Образовавшийся дихлорэтан, сливается в емкость. Каждый хлоратор имеет отсечной клапан на линии хлора, закрытие которого происходит в следующих случаях:

- при повышении температуры в хлораторах более 115 °С;
- при падении уровня в хлораторах ниже 50 %;
- при падении расхода этилена менее 800 м^3/ч;
- при повышении давления абгазов выше 0,068 МПа.

Реакция хлорирования протекает в среде жидкого дихлорэтана (при его температуре кипения) в присутствии катализатора – хлорного железа, образующегося в хлораторе при взаимодействии решеток из листовой стали Ст.3, установленных в период капитального ремонта хлоратора, с поступающим хлором или закачивается с куба колонны как продукт коррозии технологических трубопроводов и аппаратов.

Тепло реакции снимается возвратным дихлорэтаном, который поступает в нижнюю часть хлоратора после конденсации паров дихлорэтана в конденсаторах и отделения его от абгазов в фазоразделителе.

В качестве холодильников используются воздушные конденсаторы.

Массовая доля этилена в абгазах после холодильников контролируется и должна соответствовать 20-23 % избытку его по отношению к хлору по объему.

Избыточное количество дихлорэтана через смотровой фонарь и регулирующий клапан, связанный с уровнем в хлораторе, сливается в емкость.

Для исключения аварийных ситуаций предусмотрена постоянная подача азота непосредственно в хлораторы и на свечу рассеивания.

Абгазы с температурой не более 60 °С, содержащие этилен, хлористый водород, инерты и несконденсировавшиеся пары дихлорэтана, из фазоразделителей направляются в дохлоратор.

Дохлоратор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, внутри которого расположены по центру циркулярная труба, которая предназначена для исключения уноса жидкого 1,2-дихлорэтана из зоны реакции, а также восемь перфорированных решеток для вертикального перемешивания.

Ниже барбатера абгазного этилена в дохлораторе расположен барбатер, по которому подается абгазный хлор с давлением от 0,15 до 0,25 МПа. Дохлоратор работает в режиме «на кипу» при температуре от 338 до 375 К.

Абгазы из дохлоратора с давлением от 0,002 до 0,015 МПа поступают в конденсатор-холодильник, представляющий собой графитовый аппарат, охлаждаемый оборотной водой. Для очистки от механических примесей на трубопроводе оборотной воды перед холодильником установлен фильтр.

После фазоразделителя конденсат стекает в уравнительный бак назначение которого поддерживать постоянный уровень в дохлораторе в очень узких пределах от 55 до 70 %. Часть потока (избыток) из уравнительного бачка стекает через гидрозатвор в сборник. Во избежание снижения уровня в уравнительном бачке ниже 50 % необходимо поддерживать температуру абгазов после фазоразделителя

не более 323 К. Количество этилена в абгазах после холодильника должно соответствовать от 5 до 10 % избытка его по отношению к хлору по объему.

Абгазы после фазоразделителя поступают в конденсаторы охлаждаемые рассолом 238 К. Сконденсировавшийся дихлорэтан через фазоразделитель сливается в емкость, а абгазы с температурой от 273 до 253 К поступают в абсорбер, где происходит абсорбция хлористого водорода водой, промываемой прямотоком из коллектора оборотной воды.

Слабая соляная кислота, содержащая хлор органику, сливается через фазоразделитель в емкость, откуда направляется на отпарку 1,2-дихлорэтана из сточной воды, а абгазы поступают на свечу рассеивания.

2.2 Отгонка хлористого водорода

Отгонка хлористого водорода происходит следующим образом: 1,2-дихлорэтан-сырец из хлоратора и уравнительного бачка поступает через смотровой фонарь в сборник и подается насосами наверх колонны [12].

Пары дихлорэтана из фазоразделителя поступают в хвостовой холодильник-конденсатор, охлаждаемый рассолом 238 К, оттуда по общему коллектору дихлорэтан сливается в емкость. Пары из фазоразделителя направляются в холодильник.

1,2-дихлорэтан из куба колонны через смотровой фонарь и холодильник, охлаждаемый оборотной водой, поступает в сборник готового продукта и центробежным насосом откачивается на склад готовой продукции.

Отпарка 1,2-дихлорэтана из сточных вод узла хлорирования

После фазоразделителя сточные воды, содержащие дихлорэтан, сливаются в сборник сточных вод. Стоки от промывки оборудования сливаются в емкость, откуда насосом, откачиваются во флорентин, где происходит разделение дихлорэтана от воды. Сточные воды насосом через теплообменник, где подогреваются, используя тепло очищенных сточных вод и теплообменник, где подогреваются паром Р = 0,25 МПа до температуры от 90 до 95 °С, подаются в верхнюю часть отпарной колонны.

В куб колонны подается острый пар Р = 0,25 МПа, температура куба колонны должна быть в пределах от 95 до 105 °С. Уровень в кубе колонны должен быть в пределах от 30 до 80%.

Пары азеотропа дихлорэтан-вода с парами хлористого водорода с верха колонны поступают в конденсатор, где конденсируются оборотной водой. Затем - во флорентин, откуда нижний слой 1,2-дихлорэтан, сливаются в емкость, а водный слой возвращается в сборник сточных вод. В емкости происходит дополнительное расслоение 1,2-дихлорэтана и водного слоя. Для возврата водного слоя с верхней части емкости установлена перемычка. С нижней части емкости дихлорэтан насосом откачивается в емкость, далее в колонну. Условно очищенные сточные воды с куба колонны охлаждаются в теплообменнике оборотной водой и сливаются в канализацию.

2.3 Ректификация 1,2-дихлорэтана

1,2-Дихлорэтан-сырец из емкости насосом подается в колонну ректификации.

Колонна ректификации предназначена для получения 1,2-дихлорэтана-ректификата. Она представляет собой вертикальный цилиндрический, аппарат с 61 клапанной тарелкой. Температура куба колонны контролируется поддерживается от 361 до 385 К, с подачей пара давлением 0,32 МПа в испарители. Массовый расход пара, подаваемого в испарители, составляет 6 т/ч. Температура верха колонны поддерживается в пределах от 355 до 359 К. Уровень в кубе колонны поддерживается от 50 до 80 %. Перепад давления в колонне составляет от 0,1 до 0,9 МПа.

Пары 1,2-дихлорэтана выходят из верхней части колонны и поступают в трубное пространство конденсатора, который представляет собой шестисекционный аппарат воздушного охлаждения, состоящий из трех основных узлов: электродвигателя с вентилятором, диффузора и блока из шести секций трубных пучков.

Сконденсировавшийся в конденсаторе 1,2-дихлорэтан поступает в фазоразделитель и стекает в сборник флегмы. Уровень в сборнике флегмы составляет от 20 до 70 %.

Часть 1,2-дихлорэтана из сборника насосом с объемным расходом 15 м/ч подается в колонну в качестве флегмы. Остальной 1,2-дихлорэтан выводится в емкость в количестве не более 200 л/ч.

1,2-Дихлорэтан-ректификат отбирается с 53 тарелки в жидком виде и после охлаждения в теплообменнике, охлаждаемом оборотной водой, с температурой не более 323 К выводится в емкость, откуда насосом откачивается в товарный цех.

Кубовый продукт колонны с объемным расходом не более 0,83 $м^3$/ч и с массовой долей 1,2-дихлорэтана не менее 90 % выводится в емкость после предварительного охлаждения в теплообменнике, охлаждаемом оборотной водой. Из емкости кубовый продукт колонны откачивается в товарный цех [12].

2.4 Характеристика сырья и готовой продукции

Этилен

Химическая формула C_2H_4, молекулярная масса 28,05.

Параметры критического состояния:

- критическое давление 5,12 МПа
- критическая температура 9,9°С
- критическая плотность 220 кг/м3
- теплота сгорания 1330,680 кДж/моль
- теплота образования стандартная 52,321 кДж/моль
- растворимость в воде при 20 °С 0,015 %.

Устойчив до 350°С, далее разлагается на метан и ацетилен [16].

Хлор

Химическая формула Cl_2, молекулярная масса 70,91.

Зеленовато-жёлтый газ с резким удушливым запахом. Плотность (по воздуху) 2,486. При нормальных условиях 1 л весит 3,214 г. При 0 °С и давлении 6 бар сгущается в золотисто-жёлтую жидкость.

Температура плавления: -101,3 °С, температура кипения: -34,1 °С.

Вода, растворяя хлор, окрашивается в зеленоватый цвет и приобретает запах хлора (хлорная вода). Растворим в четырёххлористом углероде, бромистом этилене и концентрированной соляной кислоте [23]. Не горюч, но поддерживает

горение многих органических веществ, с водородом образует смеси, взрывающиеся на солнечном свету.

Хлористый водород

Химическая формула HC1, молекулярная масса 36,46.

Бесцветный газ с резким раздражающим запахом.

Плотность (по воздуху) 1,268.

Параметры критического состояния:

- критическая температура 51,4°C
- критическое давление $82{,}58 \cdot 105$Па
- критическая плотность $0{,}42 \cdot 103$ кг/м3
- теплота плавления 1,993 кДж/моль
- теплота парообразования 16,19 кДж/моль
- теплота образования газа при 25°C -92,44 кДж/моль
- удельная теплоемкость при 10°C 0,811 Дж/кг К.

Хорошо растворим в воде с образованием соляной кислоты.

Керамзит

Материал ячеистого строения, вспученный при обжиге глинистых пород.

Керамзит классифицируется на следующие разновидности:

- керамзитовый гравий – легкий заполнитель бетонов и железобетонов, вспученные зерна которого имеют округлую или гравелистую форму, и прочную спекшуюся шероховатую оболочку, размерами в пределах от 5 до 40 мм в поперечнике, получают его во вращающихся печах, в кипящем слое и другими способами;
- керамзитовый щебень – легкий заполнитель бетона и железобетона произвольной, преимущественно угловатой формы с размерами зерна от 5 до 40 мм в поперечнике, полученный путем дробления крупных глыб или кусков вспученной массы керамзита, обоженного во вращающихся печах, на решетках и другими методами;
- керамзитовый песок гравелистой формы – с тонко спекшейся оболочкой размером от 0,15 до 5 мм, получаемый обжигом глинистой мелочи во вращающихся и шахтовых печах и в печах кипящего слоя;

Исходными сырьевыми материалами для производства керамзита служат легкоплавкие глинистые породы, сланцы аргиллита, обладающие способностью вспучиваться при обжиге в пределах 1050-1250 °С в естественном состоянии или со специальными добавками, образуя при этом материал ячеистого строения.

Истинная плотность керамзитов от 2,6 до 2,7 г/см^3, средняя плотность в куске равна от 0,7 до 1,8 г/см^3, истинная пористость (общая) находится в пределах от 40 до 75 %, пористость кажущаяся (открытая) от 30 до 65%, пористость закрытая от 10 до 20 %. Водопоглощение керамзита, измеренное через 48 часов составляет от 20 до 30 %.

1,2-Дихлорэтан

Химическая формула $C_2H_4C1_2$, молекулярная масса 98,96.

Бесцветная легколетучая жидкость со сладковатым запахом, при влажности менее 0,1% является гигроскопической жидкостью.

Температура кипения - 83,47°С, температура плавления - минус 35,36°С.

Относительная плотность пара (по воздуху) 3,4.

Параметры критического состояния:

- критическое давление 5,37 МПа
- критическая температура 288 °С
- критическая плотность 440 кг/м^3
- теплота сгорания 1134,7 кДж/кг
- теплота плавления 88,4 кДж/кг
- теплота образования стандартная -129,7 кДж/моль

Дихлорэтан хорошо растворяется в спирте, эфире, нефтяных углеводородах, плохо растворяется в воде. С водой образует азеотропную смесь состава дихлорэтан: вода = 91,8 : 8,2, кипящую при температуре 71,6 °С.

Технические требования к готовому продукту определяются по ГОСТ 1942-86 и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические требования к готовому продукту по ГОСТ 1942-86

Наименование показателя	Нормы для сорта		
	Высшего	Первого	Второго
1. Массовая доля 1,2-дихлорэтана, %, не менее	99,9	99,4	98

2. Массовая доля органических примесей, %, не более: - винилхлорида - 1,2-дихлорпропана - хлористого аллила	 0,002 0,005 0,002	 - - -	 - - -
3. Массовая доля воды, %, не более	0,005	0,05	0,12
4. Массовая доля кислот в пересчете на HC1,%, не более	0,0002	0,002	0,004
5. Массовая доля нелетучего остатка, %, не более	0,0008	0,0004	-
6. Массовая доля железа, %, не более	0,0004	0,0004	-

2.5 Очистка газовых выбросов от 1,2-дихлорэтана

Были проведены исследования возможности применения гидрофобных материалов на основе керамзита для очистки сточных вод и газовых выбросов от дихлорэтана. Разработана технология обработки керамзита с целью помещения на его поверхности жидких добавок, обладающих адсорбционными свойствами [18]. Для этого наносимую жидкую фазу растворяют в подходящем растворителе. Далее этим раствором пропитывают керамзит, а затем сушат его.

Пористые материалы, типа керамзитового гравия, после гидрофобизации приобретают способности извлекать из воды органические примеси типа мазут, керосин, пищевых жиров. Извлечение идет за счет адсорбированных процессов, причем сорбируемая органика накапливается в открытых порах загрузки фильтра, что обеспечивает его долговременную работу. По мере отработки, загрузочный материал регенерируется в том же модификаторе с извлечением собранного продукта для повторного использования.

Была создана опытная установка доочистки газовых выбросов. Установка представляет собой стальную трубу с фланцами длинной 1800 мм и диаметром 80 мм. В нее засыпался керамзит, пропитанный глицерином и пропускались газовые выбросы производства. Концентрация поступающих и очищенных газов анализировалась хроматографически. В качестве адсорбента для очистки абгазов использован керамзит, на поверхность которого нанесен водный раствор глицерина.

Абгазы поступают на адсорбцию в адсорбер, представляющий собой цилиндрический аппарат с насадкой. Абгазы, проходя через насадку, контактируют с развитой ее поверхностью. 1,2-дихлорэтан адсорбируется на поверхности носите-

ля, наносимого на керамзит (процесс схож с хроматографией), а очищенный газовый поток направляется на свечу рассеивания.

После загрязнения насадки необходимо производить процесс десорбции.

Десорбцию проводят острым паром 0,25 МПа; Т=383 К. Пар подается в нижнюю часть адсорбера и, контактируя с поверхностью насадки, уносит с собой дихлорэтан. Образующаяся при этом паро-газовая смесь направляется в теплообменник, где охлаждается оборотной водой. Затем поступает в фазоразделитель, где происходит отделение дихлорэтана от абгазов. Дихлорэтан-сырец поступает в хлоратор и далее участвует в процессе хлорирования этилена. Абгазы из фазоразделителя направляются на абсорбцию и далее обезвреживаются по выше описанной схеме.

2.6 Химизм, параметры проведения процесса

Получение 1,2-дихлорэтана методом прямого хлорирования этилена основано на реакции взаимодействия испаренного хлора и этилена в жидкой фазе. Эта реакция является каталитической и экзотермической. Поскольку экзотермическая реакция синтеза дихлорэтана в объеме газовой фазы протекает с взрывом, процесс ведут в жидкой фазе дихлорэтана. Скорость процесса жидкофазного хлорирования этилена увеличивается с ростом температуры [16].

Получение 1,2-дихлорэтана методом прямого хлорирования этилена основано на реакции [16]:

$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$

Катализатором является хлорное железо ($FeCl_3$), растворенное в дихлорэтане. Механизм реакции образования 1,2-дихлорэтана при взаимодействии этилена и хлора в присутствии катализатора состоит в электрофильном присоединении с промежуточным образованием π-комплекса. Роль хлорного железа состоит в том, что оно активирует молекулы хлора, ингибирует цепочки радикалов, ускоряет стадию перехода π-комплекса в σ-комплекс.

Хлорное железо играет роль не только катализатора присоединения, но и ингибитора радикальных процессов. В качестве катализатора используют безвод-

ные хлориды железа при температуре от 0 ˚С до температуры кипения дихлорэтана при давлении 0,05-0,2 МПа.

Наряду с основной реакцией протекают реакции заместительного хлорирования, которые ведут к образованию побочных продуктов, таких как 1,1,2-трихлорэтан, винилхлорид и т.д. Образование других примесей, также связано со свободнорадикальными процессами.

Для снижения активности радикалов в газовой фазе в реакционную зону подают кислород на уровне 1 % объемного. Избыток этилена (2-5 %), также препятствует выходу хлора в газовую фазу и следовательно снижает долю побочных свободно – радикальных процессов.

Основными параметрами, определяющими чистоту получаемого продукта, являются: соотношение этилен : хлор, наличие посторонних примесей в исходном сырье, температура процесса, концентрация катализатора.

Соотношение, между вступившими в реакцию этиленом и хлором, поддерживается 1:1. Избыток хлора ведет к увеличению образования побочных продуктов. Избыток этилена ведет к увеличению объема абгазов и дезактивации катализатора.

Примеси в сырье инертных газов или насыщенных углеводородов не оказывают влияния на химизм процесса, но заметно увеличивают потери продукта с абгазами. Объемная доля влаги более 0,002 % дезактивирует катализатор, так как хлорное железо является гидрофильным веществом, которое образует с водой нереакционноспособный комплекс $FeC1_3 \cdot 6H_2O$. Наличие кислорода в небольшом количестве способствует реакции присоединительного хлорирования, так как кислород подавляет образование свободных радикалов хлора.

Массовая доля катализатора $FeC1_3$ в дихлорэтане должна поддерживаться в пределах 0,005-0,03 %. При массовой доле катализатора в дихлорэтане менее 0,005 % скорость реакции присоединительного хлорирования уменьшается. При массовой доле катализатора более 0,03 % увеличиваются его потери с дихлорэтаном-сырцом.

3 Технологический расчет

3.1 Материальный баланс узла хлорирования этилена

Исходные данные для расчета:

- производительность установки 180000 т/г
- число часов работы 8400
- выход 1,2-дихлорэтана 99,9%
- выход трихлорэтана 0,1%
- соотношение $C_2H_4 : C1_2$ 1,1 : 1,0
- состав этилена C_2H_4 – 99,9% об.
  C_2H_6 – 0,1% об.
- состав абгазного хлора $C1_2$ – 80,0% об.
  O_2 – 4,0% об.
  H_2 – 1,2% об.
  CO_2 – 0,8% об.
  N_2 – 14,0% об.

Определим часовую производительность установки с учетом потерь

$$\frac{180000 \cdot 1000}{8400 \cdot 0,999} = 21450,02 \text{ кг/ч.}$$

При этом образуется трихлорэтана – 21,45 кг/ч.

Количество этилена, участвующего в реакциях:

$C_2H_4 + C1_2 \rightarrow C_2H_4C1_2 + 182,3$ кДж/моль

$C_2H_4 + 2C1_2 \rightarrow C_2H_3C1_3 + HCI + 283,08$ кДж/моль

$$\frac{21450,02 \cdot 28}{99} + \frac{21,45 \cdot 28}{133,5} = 6071,17 \text{ кг/ч}$$

$$\frac{21450,02 \cdot 22,4}{99} + \frac{21,45 \cdot 22,4}{133,5} = 4856,93 \text{ м}^3\text{/ч,}$$

где 21450,02 и 21,45 – количество образовавшихся по уравнениям дихлорэтана и трихлорэтана соответственно, кг/ч; 28 – молекулярная масса этилена; 99 и 133,5 – молекулярные массы дихлорэтана и трихлорэтана.

С учетом 10% -го избытка:

$$\frac{4856,93 \cdot 1,1}{0,999} = 5347,97 \text{м}^3\text{/ч}.$$

или 6684,96 кг/ч, откуда содержание этана в этиленовой фракции – 5,35м^3/ч или 7,17 кг/ч, итого расход этиленовой фракции 6692,13 кг/ч.

Количество хлора, участвующего в процессе:

$$\frac{21450,02 \cdot 71}{99} + \frac{21,45 \cdot 2 \cdot 71}{133,5} = 15406,16 \text{кг/ч}, \qquad \frac{15406,16 \cdot 22,4}{71} = 4860,53 \text{м}^3/\text{ч}$$

где 71 - молекулярная масса хлора;

С учетом концентрации хлора объемный расход абгазного хлора составит

$$\frac{4860,53}{0,8} = 6075,66 \text{м}^3/\text{ч},$$

Состав абгазного хлора: $C1_2$ – 4860,53 м^3/ч (15406,16 кг/ч)

N_2 – 850,59 м^3/ч (1063,24 кг/ч)

CO_2 – 48,605 м^3/ч (95,47 кг/ч)

O_2 – 243,03 м^3/ч (347,19 кг/ч)

H_2 – 72,91 м^3/ч (6,51 кг/ч).

Количество образующегося хлористого водорода

$$\frac{21,45 \cdot 36,5}{133,5} = 5,86 \text{ кг/ч } (3,6 \text{м}^3/\text{ч})$$

Состав и количество отходящих газов приведены в таблице 2

Таблица 2 – Состав абгазов, отходящих из хлоратора

Газы	Объемный расход, м^3/ч	Состав, % об.	Массовый расход, кг/ч
Этилен	487,65	28,59	607,12
Азот	850,59	50,07	1063,24
Кислород	243,03	16,35	347,19
Водород	72,91	0,31	6,51
Углекислый газ	48,605	4,5	95,47
Хлористый водород	3,60	0,19	5,11
Всего		100,00	2123,64

Количество отходящих газов $G_{ДХЭ}$, кг/ч, насыщенных дихлорэтаном, вычисляют по формуле

$$G_{ДХЭ} = \frac{\varphi \cdot \rho \cdot M_ж}{(P - \rho \cdot \varphi) \cdot M_г} \cdot G_г$$

где $G_г$ – количество газов, пропускаемых через ДХЭ, кг/ч; φ – коэффициент насыщения, равный 1; р – давление над жидкостью, для дихлорэтана при 40 °С 18662 Па; Р – общее давление в системе, 0,15 МПа; $М_ж$ – молекулярный вес дихлорэтана; $М_г$ – средний молекулярный вес газовой смеси вычисляют по формуле

$$M_г = \sum m_i \cdot Мв_i ,$$

где m_i – массовая доля компонентов газовой смеси; $Мв_i$ – м олекулярный вес каждого компонента.

$Мв_i = 0,2859 \cdot 28 + 0,5007 \cdot 28 + 0,1635 \cdot 32 + 0,0031 \cdot 2 + 0,0019 \cdot 36,5 + 0,045 \cdot 44 =$ 29,31.

Тогда унос паров дихлорэтана с абгазами составит

$$G_{ДХЭ} = \frac{2139,35 \cdot 99 \cdot 18662}{(150000 - 18662) \cdot 29,31} = 1026,76 кг/ч$$

Количество отводимого жидкого дихлорэтана составляет

21450,02 – 1026,76 = 20423,26 кг/ч.

Материальный баланс узла хлорирования этилена сведен в таблицу 3

Таблица 3 – Материальный баланс узла хлорирования этилена

Приход	кг/ч	кмоль/ч	%вес.	Расход	кг/ч	кмоль/ч	%вес
Этиленовая фракция, в т.ч.: этилен этан	6692,13 6684,96 7,17	 238,75 0,24	100,0 99,9 0,1	ДХЭ-сырец, в т.ч.: дихлорэтан трихлорэтан	20444,71 20423,26 21,45	 206,3 0,16	100,0 99,9 0,1
Хлор-газ, в т.ч.: хлор кислород водород углек.газ азот	16918,57 15406,16 347,19 6,51 95,47 1063,24	 216,99 1085 3,26 2,17 37,97	100,0 91,06 2,05 0,04 0,56 6,28	Абгазы, в т.ч. этилен дихлорэтан этан азот кислород углекисл.газ водород хлорводород	3157,57 607,12 1026,76 7,17 1063,21 347,19 95,47 6,51 4,11	 21,68 10,37 0,24 37,97 10,85 2,17 3,26 0,11	100,0 19,23 32,52 0,23 33,67 11,0 3,02 0,21 0,13
Итого	23610,7			Итого	23610,7		

3.2 Тепловой баланс узла хлорирования этилена

Тепловой баланс хлоратора вычисляют по формуле

$$\Delta Q = Q_{пр} – Q_{ух}$$

где $Q_{пр} = Q_1 + Q_р$ – тепло, приносимое в хлоратор; $Q_{ух}. = Q_2 + Q_3$ – тепло, уносимое из хлоратора, Q_1 – тепло, вносимое в хлоратор материальными потоками, $Q_р$ – тепло, выделяемое при реакции, Q_2 – тепло, затраченное на нагрев материальных потоков, Q_3 – тепло, уносимое из хлоратора продуктами реакции.

Тепло Q_1, кДж/ч, вводимое в хлоратор материальными потоками:

$$Q_1 = \sum m_i \cdot C_{pi} \cdot T,$$

где m_i – мольные доли компонентов сырья, кмоль/ч; C_{pi} – удельная теплоемкость каждого компонента при T = 298 K, кДж/(кмоль · K); T – температура, K.

Q_1 = (238,75 · 43,63 + 0,24 · 52,70 + 216,99 · 33,84 + 10,85 · 29,36 + 3,26 · 28,83 + 2,17 · 37,13 + 37,97 · 29,10) · 298 = 5772347 кДж/ч,

Тепло Q_2, кДж/ч , необходимое для нагрева сырья от 25 °С до 90 °С:

Q_2 = (238,75 · 43,63 + 0,24 · 52,70 + 216,99 · 33,84 + 10,85 · 29,36 + 3,26 · 28,83 + 2,17 · 37,13 + 37,97 · 29,10) · 65 = 1259069 кДж/ч

Тепло Q_3, кДж/ч, уносимое продуктами реакции при температуре процесса 90°С, в т.ч. с абгазами:

$Q_{3а}$ = (21,68 · 49,63 + 0,24 · 60,79 + 0,11 · 29,03 + 10,85 · 29,83 + 3,26 · 28,84

+ 2,17 · 40,95 + 37,97 · 29,42 + 10,37 · 93,16) · 363 = 1337090 кДж/ч;

сырым дихлорэтаном:

$Q_{3ДХЭ}$ = (206,30 · 93,16 + 0,16 · 95,29) · 363 = 6981998 кДж/ч;

Тепло $Q_р$, кДж/ч, выделяемое при реакциях:

$Q_р = (206,30 \cdot 182,3 + 0,16 \cdot 283,08) \cdot 10^3$ = 37653783 кДж/ч.

Таким образом, количество тепла, которое необходимо снять:

Q = 5772347 + 37653783 – (1259069 + 1337090 + 6981998) = 33847973 кДж/ч.

С учетом потерь (5%) – 32155574 кДж/ч.

Тепло $Q_{ДХЭ}$, отводимое возвратным (абгазным) дихлорэтаном m = 1026,76 кг/ч:

$$Q_{ДХЭ} = m (c_{рж} \cdot \Delta T_1 + \lambda + c_{рг} \cdot \Delta T_2),$$

где $c_{рж}$ – удельная теплоемкость жидкого дихлорэтана 1,307 кДж/(кг · K), λ – удельная теплота испарения дихлорэтана 344,3 кДж/кг, где $c_{рг}$ – удельная тепло-

емкость газообразного дихлорэтана 1,379 кДж/(кг · К), ΔT_1 – интервал нагрева жидкого дихлорэтана 43,5 °С, ΔT_2 – интервал нагрева газзобразного дихлорэтана 6,5 °С.

$Q_{ДХЭ}$ = 1026,76 (1,307 · 43,5 + 344,3 + 1,379 · 6,5) = 421093 кДж/ч

Таким образом, тепловая нагрузка на холодильник Q_x составит:

Q_x = 32155574 – 421093 = 31734481 кДж/ч

3.3 Определение основных размеров реактора

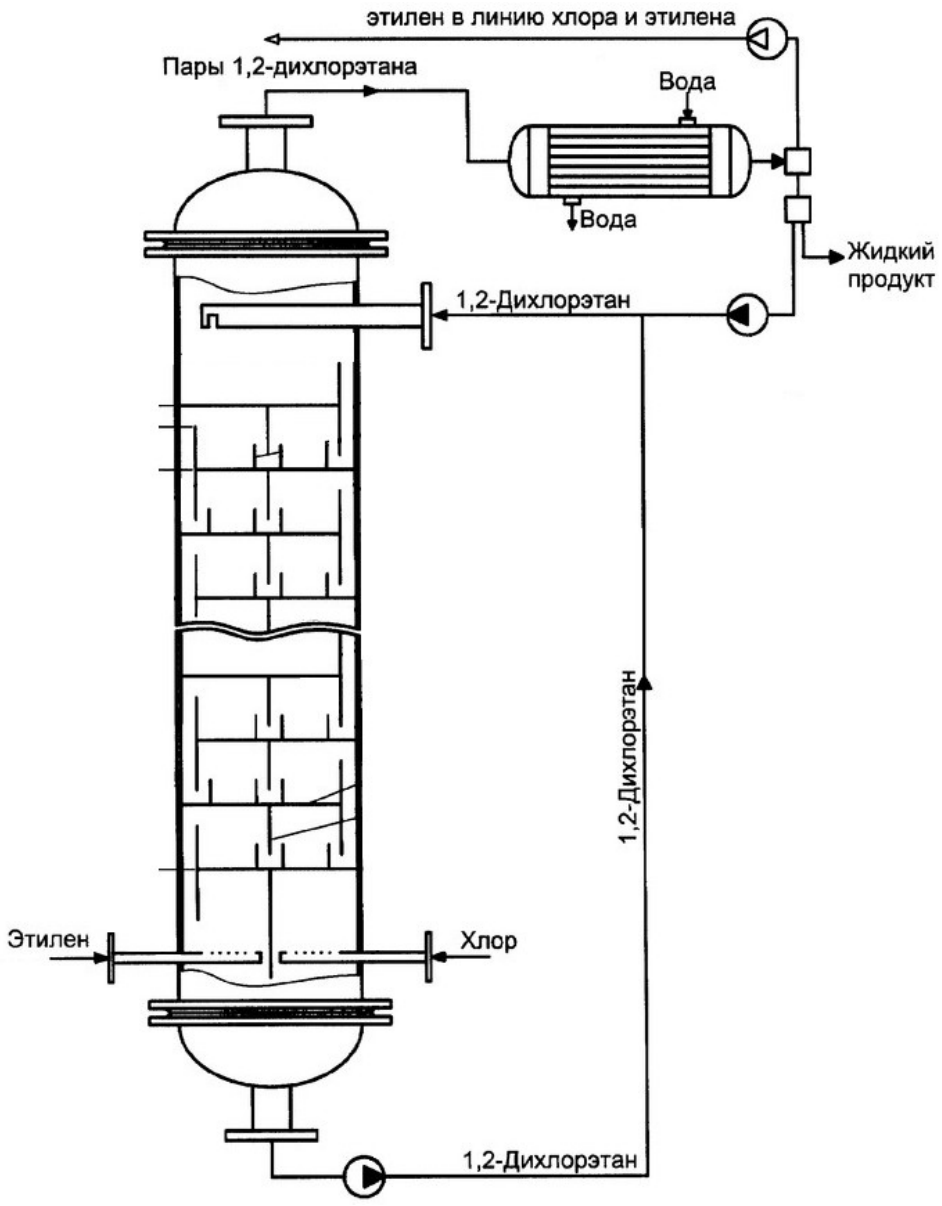


Рисунок 5 – Реактор прямого жидкофазного хлорирования этилена

Основные размеры проектируемого реактора рассчитываем исходя из соотношения действующего реактора $H/D_B = 7{,}1$ [12]

Из расчета материального баланса следует, что объём отводимого жидкого дихлорэтана составляет 16,30 м^3/ч при плотности дихлорэтана ρ = 1253 кг/м^3 []

Принимаем коэффициент заполнения реактора 0,7, тогда для поддержания постоянного уровня в хлораторе необходимо:

$$V_p = \frac{16{,}30}{0{,}7} = 23{,}28 \text{ м}^3$$

Определим внутренний диаметр проектируемого аппарата:

$V_p = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \cdot H$; $H = D_B \cdot 7{,}1$, тогда $V_P = \frac{\pi \cdot D_B^3}{4} \cdot 7{,}1$, откуда

$$D_B = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_P}{7{,}1 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 23{,}28}{7{,}1 \cdot 3{,}14}} = 1{,}61 \text{ м.}$$

Высота реактора: $H = 1{,}61 \cdot 7{,}1 = 11{,}44$ м

Определение диаметра основных патрубков

Расчет диаметра ведем по формуле [12]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot W \cdot \rho}}$$

где d – внутренний диаметр патрубка, м; G – массовый расход вещества, кг/ч; W – скорость среды, м/с; ρ – плотность среды, кг/м^3

Расходы из материального баланса:

G (дихлорэтан) = 20423,26 кг/ч

G (этилен) = 6692,13 кг/ч

G (хлор-газ) = 16918,57 кг/ч

Скорости потоков:

W (дихлорэтан) = 1 м/с

W (этилен) = 20 м/с

W (хлор) = 20 м/с

Плотности:

ρ (дихлорэтан) = 1253 кг/м^3

ρ(этилен) = 4,69 кг/м^3

ρ(хлор) = 11,64 кг/м^3.

$$d\ (\text{дихлорэтан}) = \sqrt{\frac{4 \cdot 20423{,}26}{3{,}14 \cdot 1 \cdot 3600 \cdot 1253}} = 0{,}076\ м$$

Принимаем стандартный диаметр равный 80 мм.

$$d\ (\text{этилен}) = \sqrt{\frac{4 \cdot 6692{,}13}{3{,}14 \cdot 20 \cdot 3600 \cdot 4{,}69}} = 0{,}159\ м$$

Принимаем стандартный диаметр равный 160 мм.

$$d\ (\text{хлор}) = \sqrt{\frac{4 \cdot 16918{,}57}{3{,}14 \cdot 20 \cdot 3600 \cdot 11{,}64}} = 0{,}161\ м$$

Принимаем стандартный диаметр равный 170 мм.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Основные опасности производства

Производство 1,2-дихлорэтана является взрывопожароопасным и токсичным в связи с применением продуктов, обладающих низкой температурой вспышки, низкими пределами взрываемости и низкими предельно-допустимыми концентрациями.

Расположение всего технологического оборудования внутри помещений может повлечь за собой создание повышенной взрывоопасности, концентрации паров продуктов в производственных помещениях, превышающих предельно-допустимые нормы.

Проведение процесса полимеризации при высоких температурах вызывает опасность ожога.

Использование аппаратов с мешалками, насосов, воздуходувок, гранулирующих устройств может привести к механическим травмам. Поражение электротоком или термическому ожогу.

Наиболее опасными местами производства являются:

- отделение приготовления раствора стирола с добавками: опасность заключается в том, что увеличивается возможность загазованности помещения парами стирола при отборе проб, загрузке вручную инициатора;
- отделение полимеризации опасно наличием оборудования с вращающимися механизмами, что может привести к травмированию рабочих из-за захвата одежды вращающимися механизмами;
- отделение гранулирования опасно наличием высокой температуры, что может привести к термическим ожогам, а также возможностью получения механических травм при обслуживании гранулирующих устройств;
- технологические аппараты, колодцы, приямки, лотки и емкости оборудования при осмотре, чистке и ремонте.

Эксплуатация установки связана со следующими опасностями:

– наличие больших количеств вредных и токсичных легковоспламеняющихся жидкостей и газов;
– насосы могут быть источниками загазованности при нарушении уплотнений и изоляции, а также привести к отравлению обслуживающего персонала;
– применение тока высокого напряжения для питания электродвигателей может привести к электрическим травмам, ударам и ожогам рабочих установки в случае неисправности заземления токоведущих частей электрооборудования или пробоя электроизоляции;
– переполнение емкостей может привести к разливам продукта, и, в свою очередь, к отравлению персонала, загазованности помещений, возгоранию и загрязнению окружающей среды;
– наличие вращающихся частей электродвигателей, насосов может привести к несчастным случаям на установке;
– возможен ожог масляным теплоносителем водяным паром или конденсатом;
– возможно получение травм в результате падения при обслуживании аппаратуры, расположенной на высоте;
– вращающиеся детали вентиляторов и насосов являются источниками шума, который возникает в результате вибрации кожуха вентилятора или в результате неуравновешенности ротора насоса.

Всё выше перечисленное не представляет опасности для обслуживающего персонала установки при выполнении требований технологического регламента и инструкций по технике безопасности, а при выявлении подобных факторов опасности их действие уменьшено выполнением ряда мероприятий по обеспечению безопасных и здоровых условий труда, предусмотренных проектом установки.

Вредные и опасные факторы производства представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Вредные и опасные факторы производства

Факторы	Источники и причины возникновения	Нормируемые показатели	Основные средства защиты от вредных и опасных факторов
Электрический ток	Освещение, электродвигатели, электрифицированный ручной инструмент	Переменный ток: частота 50 Гц, напряжение 220 / 380В, ток при касании не более 100мА	Световые проемы. Осветительные приборы. Изолирующие устройства и покрытия. Устройства защитного заземления и зануления. Предохранительные устройства. Устройства автоматического отключения. Молниеотводы.
Этилен (C_2H_4)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения	ПДК рабочей зоны 100 мг/м^3	Фильтрующие противогазы БКФ, респираторы РПГ-67. Устройство для удаления токсичных веществ.
Хлор ($C1_2$)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения, колодцы, приямки.	ПДК рабочей зоны 1 мг/м^3	Фильтрующие противогазы БКФ, респираторы марки РПГ-67. Устройство для вентиляции и очистки воздуха. Устройство для удаления токсичных веществ. Устройства автоматического контроля и сигнализации.
Хлористый водород (HC1)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения	ПДК рабочей зоны 5 мг/м^3	Фильтрующие противогазы БКФ, респираторы РПГ-67. Устройство для удаления токсичных веществ.
1,1,2-трихлорэтан ($C_2H_3C1_3$)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения	ПДК рабочей зоны 5 мг/м^3	Фильтрующие противогазы БКФ, респираторы РПГ-67. Устройство для удаления токсичных веществ.
Винилхлорид (C_2H_3C1)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения, колодцы	ПДК рабочей зоны 1 мг/м^3	Фильтрующие противогазы БКФ, респираторы РПГ-67. Устройство для удаления токсичных веществ Устройство для вентиляции и очистки воздуха. Устройства автоматического контроля и сигнализации.
Азот (N_2)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения	Концентрация кислорода не менее 18% (объемных)	Респираторы марки РПГ-67. Устройство для вентиляции и очистки воздуха
1,2-дихлорэтан ($C_2H_4C1_2$)	Сальниковые уплотнения, фланцевые соединения, приямки	ПДК рабочей зоны 10 мг/м^3	Фильтрующие противогазы марки БКФ, респираторы марки РПГ – 67. Устройство для вентиляции и очистки воздуха. Устройство для удаления токсичных веществ. Устройства автоматического контроля и сигнализации.
Шум и вибрация	Насосные и компрессорные установки	Не более 80 дБ	Противошумные наушники. Глушители шума. Виброизолирующие устройства. Устройства автоматического контроля и сигнализации.

4.2 Производственная санитария

По санитарной классификации 1,2-дихлорэтана, с точки зрения выделения производственных вредностей в окружающую среду относится к классу I с минимальной защитной зоной 100 метров [17].

В качестве основной меры защиты работающих от воздействия вредных веществ является дистанционное управление технологическим процессом, а также применение средств индивидуальной защиты. (спец. одежда, противогаз с фильтрующей коробкой марки БКФ)

Все лица, занятые на производстве и имеющие контакт с вредными веществами, должны в обязательном порядке проходить предварительный и периодический медицинский осмотр, знать методы оказания неотложной помощи [18] пострадавшим при отравлении.

Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе в рабочей зоне осуществляется с помощью системы контроля воздушной среды производственных помещений [19]. На установке предусматривается наличие газоанализаторов, работающих на определение нижнего предела взрывоопасности взрывоопасных газов или паров легковоспламеняющихся жидкостей (применяемых на производстве) сблокированные с аварийными вентиляционными системами при достижении 20% от нижнего предела взрываемости.

Все санитарно-бытовые помещения расположены в отдельно стоящих административно-бытовых зданиях.

Для локализации выделяющихся вредных веществ в производственных помещениях, установлена местная и общеобменная вентиляция, обеспечивающая 8-ми кратный воздухообмен по всему объему помещения. Кроме того установлена аварийная вентиляция, сблокированная с газоанализатором.

Приточные вентиляционные установки совмещены с системой воздушного отопления. Все вентиляторы, применяемые на производстве, должны быть взрывозащищенного исполнения.

Для защиты работающих от шума и вибрации предусмотрены следующие мероприятия [20]:

– изоляция источников шума и вибрации средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

– рациональное размещение технологического оборудования, машин, механизмов, акустическая обработка помещений.

Для нормализации освещения производственных помещений предусмотрено: естественное освещение – боковое в производственных зданиях, искусственное освещение – общее (все производственные помещения освещаются однотипными светильниками). Для искусственного освещения помещений используем дуговые люминесцентные ртутные лампы высокого давления (ДРЛ) [21].

Для освещения наружной установки применяются ДРЛ лампы. Все светильники, применяемые на установке производства 1,2-дихлорэтана, должны быть взрывозащищенного исполнения. Также предусматриваем аварийное освещение. Для этой цели применяются лампы накаливания.

4.3 Коллективные и индивидуальные средства защиты

Индивидуальными средствами защиты для предупреждения профессиональных заболеваний и отравлений на установке являются:

- хлопчатобумажная спецодежда: брюки, куртка, рукавицы;
- ботинки кожаные;
- рукавицы прорезиненные;
- очки защитные, респиратор, каски;
- индивидуальные фильтрующие противогазы марки БКФ;
- респираторы марки РПГ-67.

Защитная спецодежда, спецобувь, индивидуальные защитные средства не должны иметь металлических деталей, дающих искру. Все детали (пряжки, пуговицы, соединительные муфты, кольца и т.п.) должны изготавливаться из пластических масс, не искрящих металлов или сплавов.

Работа в закрытой аппаратуре и в колодцах должна производиться в шланговых противогазах, по наряду-допуску, с дублером и в присутствии руководителя работ из числа руководителей и специалистов цеха.

Средствами коллективной защиты работающих от воздействия опасных и вредных производственных факторов на установке являются:

- приточная и вытяжная вентиляция в производственных помещениях;
- дефлекторы, установленные на крыше помещений для создания естественной вытяжки воздуха из производственного помещения;
- во избежание ожогов обслуживающего персонала все поверхности горячих трубопроводов изолированы.

На установке предусмотрена световая и звуковая сигнализация для оповещения обслуживающего персонала об отклонениях параметров технологического режима от заданных значений. Во взрывоопасных помещениях установлены датчики для определения состояния воздушной среды, звуковая и световая сигнализация, центральный щит КИП и А. В производственных помещениях, в целях контроля над поддержанием чистоты воздуха, организован периодический отбор проб воздуха работниками газоспасательной службы.

4.4 Пожарная безопасность

На предприятиях нефтехимической промышленности пожары и взрывы возникают, как правило, в результате образования горючей и взрывоопасной среды как внутри аппаратов, так и в производственном помещении.

Для предотвращения образования горючих и взрывоопасных смесей при подготовке установки к ремонту аппараты и трубопроводы пропариваются, а перед пуском продуваются азотом. Кроме этого, постоянно осуществляется контроль состояния воздушной среды в помещениях установки, процесс ведется в герметически закрытых аппаратах, в помещениях, где возможно образование горючей и взрывоопасной смеси, предусмотрено применение рабочей и аварийной вентиляции. В этих же целях ограничивается количество горючих веществ на складах, организуется безопасный способ их хранения, а также проводится максимальная механизация и автоматизация процессов.

Одним из условий обеспечения пожаро- и взрывобезопасности технологического процесса является ликвидация возможных источников воспламенения. Ис-

точниками воспламенения могут быть: открытый огонь, раскаленные или нагретые стенки аппаратов и оборудования, искры электрооборудования, статическое электричество, искры в результате удара и трения деталей машин и оборудования. Источники воспламенения могут возникнуть и в результате нарушения параметров технологического процесса.

Кроме этого особым образом регламентируется порядок проведения огневых работ, а при проведении ремонтных работ используются инструменты не дающие искры (обмедненные или смазанные солидолом). Огневые работы могут производится только при наличии наряда-допуска на производство огневых работ, выданного начальником цеха (заместителем) с разработкой и осуществлением дополнительных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. О месте и времени проведения огневых работ по телефону ставится в известность пожарная охрана, ВГСЧ и служба техники безопасности завода.

Для тушения пожара предусмотрены следующие способы:

- перекрытие задвижек;
- разобщение реагирующих веществ песком, кошмой;
- тушение паром;
- автоматическая система пожаротушения.

Для обеспечения пожаро- и взрывозащиты технологического процесса используются следующие способы:

- конструкции объектов установки спланированы с заданными пределами огнестойкости и горючести в зависимости от категории производства;
- применяются пассивные методы подавления взрыва: предохранительные клапаны и дыхательная арматура на аппаратах, работающих под давлением;
- для пожаротушения в отделении гранулирования предусмотрена система паротушения;
- применяются первичные средства пожаротушения: огнетушители пенные, песок, войлочная кошма, углекислотный порошковый огнетушитель ОПУ-5, лопаты, носилки, асбестовое полотно.

Для предотвращения такой возможности на установке предусмотрены следующие мероприятия: на стадии проектирования, в зависимости от свойств и состава среды используемой и получаемой на установке, выбрано электрооборудование, исключающее возможность возникновения искр и пламени. На установке имеются устройства молниезащиты, защиты от статического электричества.

От прямых ударов молнии сооружения защищаются специально установленными молниеотводами через металлическую кровлю здания, или путем покрытия неметаллической кровли молниеприёмной сеткой.

4.5 Электробезопасность и защита от статического электричества

Для защиты от поражения электрическим током всё электрооборудование оснащено заземляющими устройствами. Размещение всех токоведущих частей спланировано в местах, недоступных для человека; установлено сплошное ограждение и предупреждающие знаки.

Для защиты от статического электричества используется заземляющее устройство, которое объединено с заземляющим устройством для всего электрооборудования установки. Кроме этого для ослабления генерирования зарядов статического электричества легковоспламеняющиеся жидкости транспортируют по трубопроводам и в резервуары с безопасными скоростями. Ограничения для скорости транспортирования принимаются в зависимости от свойств жидкости, диаметра и длины трубопровода, размера резервуара и степени его заполнения. Трубы для заполнения резервуаров, емкостей и аппаратов опускают почти до дна, под уровень имеющейся жидкости, для предотвращения образования падающей струи и накопления зарядов статического электричества. Предусматривается защита технологических установок, производственных зданий и сооружений от электрической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов через надземные и подземные металлические коммуникации.

На установке предусмотрены защитные средства для работы в условиях возможного поражения электрическим током: диэлектрические перчатки, коврики, изолирующие подставки, защитные очки.

Заключение

Как показывает анализ рынка поливинилхлорида – основного продукта, вырабатываемого из 1,2-дихлорэтана, потребность в нем остается неизменно высокой. В то же время в России поливинилхлорид является дефицитным продуктом на рынке. В 2019 году общее производство ПВХ составило 933 тыс. т, тогда как потребление – 976 тыс. т. При условии сохранения объемов производства в реальном секторе спрос на качественное и недорогое сырье для выпуска базовых полимеров, к которым относится поливинилхлорид, в ближайшие годы будет расти. Для удовлетворения этого спроса мощностей и ассортимента действующих производств явно недостаточно. Кроме того, необходимо учитывать, что возникает вопрос о закрытии или модификации устаревших производств, которые отработали уже более 35 лет. Таким образом, дефицит будет покрываться за счет расширения действующих и создания новых производств.

В настоящем проекте рассмотрена возможность расширения производства 1,2-дихлорэтана – исходного сырья для производства поливинилхлорида.

По результатам работы сделаны следующие выводы:

1 выбрана технология производства 1,2–дихлорэтана, отвечающих всем современным требованиям безопасности и энергоэффективности, а именно высокотемпературное жидкофазное хлорирование этилена на железохлорном катализаторе;

2 проведен расчет материального, теплового балансов и габаритных размеров хлоратора с учетом увеличенной до 180тыс. т/г мощности производства 1,2-дихлорэтана

3 показано, что при выбранной технологии выделяющееся в ходе реакции тепло расходуется на испарение и ректификацию продуктов, сточные воды отсутствуют, катализатор образуется непосредственно в реакторе.

Список используемых источников

1 В.Г. Рупышев В.Г., Л.И. Гинзбург. Производство ударопрочного полистирола непрерывным методом полимеризации в массе. – М.: НИИТЭХИМ, 1990. – 66 с.

2 В.В. Коршак. Технология пластических масс. – М.: Химия, 1972. – 616 с.

3 В.М. Катаев, В.А. Попов, Б.И. Сажин. Справочник по пластическим массам. - М.: Химия, 1975. - 448с.

4 М.И. Гарбар, М.С. Акутин, Н.М. Егоров. Справочник по пластическим массам. - М.: Химия, 1983. - 123с.

5 В.А. Воробьев. Технология полимеров. 1-е изд. – М.: Высшая школа, 1971. - 360с.

6 Кузнецов А.А., Кагерманов С.М. и др. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. – Л.: Химия, 1974. – 343 с.

7 Информационный бюллетень «Полистирол, рынок России 4-й квартал 2007 г.» ООО ИЦ «Кортес». Выпуск № 4, Февраль 2008 г.

8 Информационный бюллетень «Полистирол, рынок России 3-й квартал 2007 г.» ООО ИЦ «Кортес». Выпуск № 3, Ноябрь 2007 г.

9 Информационный бюллетень «Полистирол, рынок России 2-й квартал 2007 г.» ООО ИЦ «Кортес». Выпуск № 2, Август 2007 г.

10 Информационный бюллетень «Полистирол, рынок России 1-й квартал 2007 г.» ООО ИЦ «Кортес». Выпуск № 1, Июнь 2007 г.

11 Технологический регламент цеха № 47 ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» «Производства блочного полистирола методом неполной конверсии и производства вспенивающегося полистирола по методу фирмы «SULZER» на базе ПСМ-115 Н» ТР 1847.004-2007.

12 М.И. Гарбар, М.С. Акутин, Н.М. Егоров. Справочник по пластическим массам. - М.: Химия, 1983. – 123 с.

13 Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем: Учебник / Под. ред. д-ра хим. наук, проф М.Ю. Доломатова, д-ра техн. наук, проф. Э. Г. Теляшева. – М.: Химия, 2002. – 608 с.: ил.

14 Безопасность жизнедеятельности Январь № 1/2004 г. А.Н. Черноплеков, А.А.Ляпин, Р.Е. Монахов, С.В. Шавкин «Применение методов количественной оценки риска при анализе аварии». – Издательство «Новые технологии», 2004.

ГОСТ 14246 – 79. Теплообменники с плавающей головкой. Типы и основные параметры.

ГОСТ 21.404 – 85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.

ГОСТ 2.004-88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД. Основные надписи.

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы.

ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам.

ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы.

ГОСТ 2.304-81 ЕСКД. Шрифты чертежные.

ГОСТ 2.316-68 ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.

ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы физических величин.

ГОСТ 14249 — 89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность.

Приложение А (обязательное)