

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

Институт электронного обучения
 Направление подготовки - Химическая технология органических веществ
 Кафедра химической технологии органических веществ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проект узла синтез пропанола -2
УДК 661.725.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д12	Абдубокиева Ш.У.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ХТОВ и ПМ	Волгина Т.Н.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Чулков Н.А	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ХТОВ и ПМ	Юсубов М.С.	Профессор, доктор химических наук		

Томск – 2016г.

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



Институт _____
Направление подготовки (специальность) _____
Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой
Юсубов М.С.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы
В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д12	Абдубокиева Шоира Усманалиевна

Тема работы:

Проект узла синтез пропанола - 2	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.01.2016 №409/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	В проекте обоснован выбор схемы производства изопропилового спирта прямой гидратацией пропилена. Полый цилиндрический аппарат с несколькими слоями неподвижного катализатора. Производительность установки 100 тыс. тонн в год.
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Теоретическая часть Объект и методы исследования Инженерные расчеты
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Вид общий основного аппарата Сборочные единицы Технологическая схема
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Сечина А.А
Социальная ответственность	Чулков Н.А
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: все разделы предоставляются на русском языке.	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
	20.09.2015

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волгина Т.Н.	к.х.н., доцент.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д12	Абдубокиева Ш.У.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Группа	ФИО			
3-2Д12	Абдубокиева Шоира Усманиевича			
Институт		Кафедра		
Уровень образования	ИНЭО	Направление/специальность	Химическая технология	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:				
1. Характеристика объекта исследования и области его применения		Схема прямой гидратации пропилена в изопропиловый спирт с применением катализатора на основе ортофосфорной кислоты. Область применения - химическая промышленность и смежные отрасли, где получают и (или) используют изопропиловый спирт		
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:				
1. Производственная безопасность		1.1. Особенности профессиональной деятельности аппаратчика производства химических реактивов: - виды деятельности аппаратчика; 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при производстве химических реактивов: - управление реактором; - управление дозатором; - контроль технологических процессов; 1.3. Средства индивидуальной защиты, рекомендованные для использования - определение перечня СИЗ; - расчет потребности в СИЗ.		
2. Экологическая безопасность		2.1. Защита селитебной зоны; 2.2. Анализ воздействия объекта на атмосферу; 2.3. Анализ воздействия объекта на гидросферу; 2.4. Анализ воздействия объекта на литосферу.		
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:		3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при производстве объекта исследования на производстве; 3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; 3.3. разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.		
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:		4.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства; 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.		
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику				
Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
3-2Д12	Абдубокиева Шоира Усманиевича			

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2Д12	Абдубокиева Шоира Усманилиевна

Институт	Природных Ресурсов	Кафедра	Кафедра технологии органических веществ и полимерных материалов
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Химическая технология
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:			
Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих		Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.	
Нормы и нормативы расходования ресурсов			
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования			
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
анализ эффективности действующего производства		1.1. Рассчитать себестоимость готовой продукции по действующему производству. 1.2. Определить цену готовой продукции. 1.3. Провести анализ безубыточности по действующему производству. 1.4. Определить технико-экономические показатели.	
повышение эффективности производства (управление себестоимостью)		2.1. Определить оптимальный путь снижения себестоимости - наращивание объемов производства («эффект масштаба»); 2.2. Рассчитать себестоимость готовой продукции в проектном году 2.3. Определить цену готовой продукции в проектном году 2.4. Провести анализ безубыточности по производству в проектном году 2.5.. Определить технико-экономические показатели.	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):			
Графики безубыточности. Технико-экономические показатели			
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику			12.04.2016

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2Д12	Абдубокиева Шоира Усманиевна		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 59с., 7 рис., 10 табл., 23 ссылок.

Разработан проект установки прямой гидратации пропилена с производительностью по изопропанолу 100 000 т/год.

В проекте обоснован выбор схемы производства изопропилового спирта прямой гидратацией пропилена. Рассмотрены физико-химические основы процесса и обоснованы условия проведения процесса. Рассчитан материальный баланс производства, проведен тепловой, гидравлический, технологический и механический расчеты реактора.

КАТАЛИЗАТОР, ГИДРАТАЦИЯ ПРОПИЛЕНА, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС, КОНТАКТНЫЙ АПАРАТ, СДУВКА.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление	54
1. Теоретическая часть	56
1.1 Технико-экономическое обоснование проекта	56
1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов	59
1.4 Выбор и обоснование конструкции основного аппарата	63
1.5 Выбор и обоснование технологической схемы производства	68
2 Инженерные расчеты	70
2.1 Описание технологической схемы	70
2.4 Технологический расчет основного аппарата	73
2.4.1 Описание реактора прямой гидратации пропилена	73
3.1. Расчет производственной мощности и производственной программы	74
3.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки	75
3.3 Планирование себестоимости продукции	78
3.4. Построение точки безубыточности.	79
3.5 Технико-экономические показатели	80

Введение

Изопропанол - один из основных продуктов органического синтеза, который используется во многих областях деятельности: медицине, химической промышленности, фармацевтике и т.д.

К промышленным методам получения изопропилового спирта относятся сернокислотная и прямая гидратация пропилена. Каждая из этих технологий имеет свои недостатки и преимущества. Основным преимуществом сернокислотной гидратации являются минимальные требования предъявляемые к чистоте пропиленсодержащего сырья, в то же время, само по себе использование серной кислоты значительно повышает затраты на изготовление оборудования. Прямая гидратация позволяет получать изопропиловый спирт с минимальным выходом побочных продуктов, однако степень конверсии пропилена в этом методе не превышает 75 %, что приводит к необходимости значительного снижения содержания примесей в сырье и реализации рецикла пропилена. В последнее время наибольшее распространение получает именно прямая гидратация пропилена в связи с минимальной себестоимостью получения изопропанола.

Целью данного проекта являются: выбор и технико-экономическое обоснование технологической схемы получения изопропилового спирта прямой гидратацией пропилена и проведение материального, теплового, технологического, механического и гидравлического расчета, а также выбор конструкции основного и вспомогательного оборудования.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Техничко-экономическое обоснование проекта

Изопропиловый спирт - один из основных продуктов органического синтеза, который широко используется во многих областях деятельности. В медицине и фармацевтической промышленности пропанол-2 применяют в качестве дезинфицирующего средства вместо этанола. В химической промышленности его используют в качестве растворителя, экстрагента масел, смол и латексов, для депарафинизации гудронов и дизельных топлив, производства ацетона и ряда других органических веществ. Кроме того изопропиловый спирт используется для очистки оптических деталей и в качестве антифриза.

К основным современным методам промышленного получения изопропилового спирта относятся прямая и сернокислотная гидратации пропилена [1 - 7]. Наряду с основными методами синтеза изопропанол также может быть получен путем гидрирования ацетона [1, 8], щелочного гидролиза 2-хлорпропана [1 - 6], гидрогенизации кислот, эстеров и пропиленоксида [1]. Исторически первым промышленным способом получения изопропилового спирта было гидрирование ацетона [8], однако данный метод, как и другие альтернативные методы не применяется в промышленности из-за дороговизны исходных веществ - ацетона, хлорпроизводных, кислот, эстеров и оксида пропилена.

Сернокислотная гидратация пропилена - двухстадийный жидкофазный процесс, который преимущественно используется для получения изопропилового спирта из пропан-пропиленовой фракции нефти. В основе метода лежат процессы образования 2-пропилсульфата при взаимодействии серной кислоты и пропилена и последующего его гидролиза водой с образованием изопропанола [1, 2, 4, 6, 7]. В качестве исходных веществ метода используют пропан-пропиленовую фракцию с содержанием пропилена 20 - 25 об. %, 70 %-ную серную кислоту и воду. В наиболее современных схемах [7],

абсорбция пропилена серной кислотой осуществляется при температуре 65 °С и давлении 0,5 - 0,6 МПа, гидролиз водой с одновременным испарением 85 %-го изопропанола-сырца проводится под вакуумом. Выход и селективность по спирту составляют соответственно 93 - 95 % [7] и 85 - 95 %, а степень конверсии пропилена превышает 97 % [1].

Поскольку взаимодействие серной кислоты и пропилена протекает достаточно интенсивно, сопровождается значительным выделением тепла и не задеиствует в реакции пропан, то к основным преимуществам сернокислотной гидратации пропилена относительно прямой гидратации можно отнести: возможность применения исходного сырья с низким содержанием пропилена [1, 2, 4, 6, 7] и более низкое давление процесса. При этом, следует отметить, что использование низких давлений, с одной стороны понижает расходы на компрессию исходных веществ и изготовление оборудования работающего под высоким давлением. С другой стороны, реакция гидратации пропилена протекает с уменьшением объема системы и снижение давления понижает скорость процесса. Значительная экзотермичность абсорбции приводит к повышению температуры реакционной смеси, что провоцирует протекание нежелательных побочных процессов, и как следствие порождает необходимость значительного отвода тепла [1, 6, 7]. Высокая реакционная способность серной кислоты по отношению к пропилену приводит к еще одному недостатку сернокислотной гидратации - высокому выходу диизопропилового эфира (5 - 7 %), образование которого обусловлено взаимодействием диалкилсульфатов с изопропиловым спиртом [7]. Кроме того, само по себе использование серной кислоты требует использования коррозионно устойчивых материалов для изготовления оборудования [1, 6, 7].

Прямая гидратация пропилена - одностадийный гетерофазный процесс осуществляемый на твердом кислотном катализаторе. В зависимости от типа катализатора процесс может осуществляться в газовой фазе или жидкой фазе. Параметры процесса для разных схем лежат в пределах: температура 130 - 160 °С, 240 - 270 °С, давление 2,5 - 20,3 МПа, содержание пропилена в исходном

сырье 92 - 99 масс. %, степень конверсии пропилена 5-6 и 60 - 75 %, селективность по изопропиловому спирту 93 - 99 % [1, 6, 7, 9].

Независимо от типа, для всех промышленных процессов прямой гидратации пропилена можно выделить следующие преимущества относительно сернокислотной гидратации: отсутствие как таковой серной кислоты понижает требования к материалам используемых при конструировании аппаратов, снижается выход побочных продуктов. Процесс прямой гидратации менее экзотермичен, что позволяет, с одной стороны, использовать более высокие температуры и тем самым повышать скорость целевой реакции, практически не влияя на выход побочных продуктов, а с другой - повышение температуры в зоне реакции можно регулировать путем ввода недостаточно нагретой воды в слой катализатора. Кроме того появляется возможность применения высоких давлений, что также способствует повышению скорости основной реакции. Недостатками прямой гидратации являются: необходимость использования сырья с высоким содержанием пропилена и осуществления процесса по циклической схеме из-за низкой степени конверсии пропилена, применение "сдувки" инертнов из рециркулирующей смеси, которое сопровождается потерями пропилена [1, 6, 7].

В общем случае, несмотря на наличие значительного количества недостатков, себестоимость производства изопропанола прямой гидратацией пропилена ниже, чем сернокислотной [7], поэтому применение прямой гидратации пропилена более целесообразно.

1.2 Характеристика продукта, исходного сырья, материалов и полупродуктов

Для прямой гидратации пропилена в изопропиловый спирт, исходным сырьем являются концентрированная по пропилену пропан-пропиленовая фракция нефти, состоящая из пропана (C_3H_8) и пропилена (C_3H_6), и вода.

Продуктами выступают изопропиловый спирт (ИЗС) и диизопропиловый эфир (ДИПЭ). Полупродукты - растворы изопропилового спирта, воды и диизопропилового эфира и изопропилового спирта и эфира. Физико-химические свойства продуктов и сырья приведены в таблице 1.1. Состав и температуры кипения азеотропных растворов в смесях вода-изопропиловый спирт-диизопропиловый эфир приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.1 - Физико-химические свойства продуктов, сырья и полупродуктов

Параметр	Вещество					Ссылка
	C_3H_8	C_3H_6	H_2O	ИПС	ДИПЭ	
Молекулярная масса, кг/кмоль	44	42	18	60	102	
Плотность (20 °С), кг/м ³						[10 - 12]
пара	2,01	1,81	0,0189 1000	-	-	
жидкости	500,5	513,9	887 (180 °С)	785,5	724,1	
Теплоемкость, кДж/кмоль·К	73,51	63,89	75,31(ж) 33,56 (г)	153,4(ж)		[13]
Энтальпия, МДж/кмоль	-103,9	20,41	-285,84 (ж) -241,84 (г)	-318,7(ж) -275,4(г)		[13]

Вязкость жидкости, мПа·с	1,02(- 140°C) 0,204(- 40°C)	0,370(- 100°C) 0,128 (0 °C) 0,027(90 °C)	1000 (20 °C) 153 (180 °C)	2,43 (20 °C)	0,37 (20 °C)	[10 - 12]
Вязкость пара, мкПа·с	-	6,40(-50 °C) 7,81 (0 °C) 10,76 (100 °C)		-	-	[11]
Температура кипения, °C	-42,1	-47,7	100	82,5	69	[10 - 12]

Таблица 1.2 - Составы и температуры кипения азеотропных смесей системы вода-изопропиловый спирт-диизопропиловый эфир [14]

Вещества в азеотропе	Температура кипения, К	Состав азеотропной смеси, масс. %		
		Н2О	ИПС	ДИПЭ
Вода + ИПС	353,45	12,0	88,0	0
ИПС + ДИПЭ	339,35	0	16,3	86,7
Вода + ДИПЭ	335,35	4,5	0	95,5
Вода + ИПС + ДИПЭ	334,75	4,7	7,3	88,0

1.3 Физико-химические основы процесса

Прямая гидратация пропилена является обратимым процессом и протекает по уравнению [1, 3, 6, 7]:

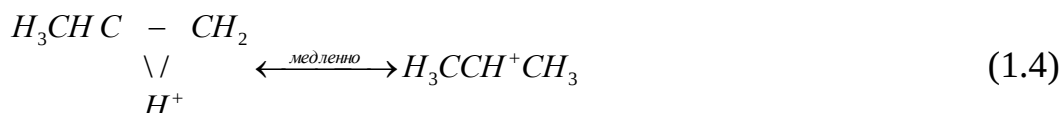
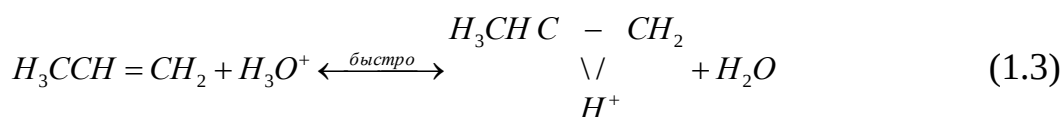


Зависимость константы равновесия от температуры описывается уравнением [1]:

$$Kp = \frac{1920}{T} - 5,880$$

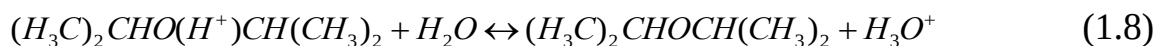
В связи с тем, что реакция экзотермична и протекает с уменьшением объема, то смещению равновесия в сторону образования изопропанола способствуют снижение температуры и повышение давления.

Механизм процесса на слабокислотном катализаторе протекает через образование пропильного карбокатиона по схеме [9]:

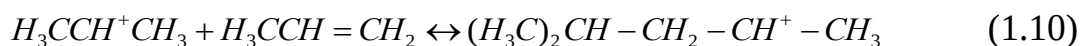


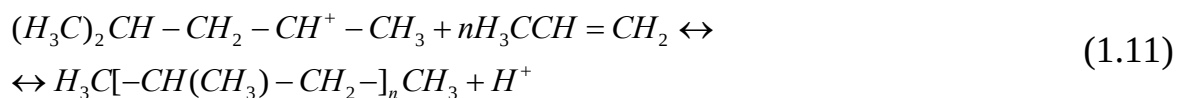
Из-за высокой реакционной активности карбокатиона, в реакционной смеси протекают побочные реакции образования [7]:

диизопропилового эфира:



полимеров:





Выход побочных продуктов может быть снижен за счет введения значительного избытка воды, понижения температуры процесса и применения слабокислотных катализаторов.

Скорость целевой химической реакции увеличивается с повышением температуры и давления и достигает достаточной величины при 200 - 300 °С.

Исходя из термодинамических и кинетических аспектов осуществления процесса, а также низкой термической стабильности пропилена при 300 °С [1], в реальных технологических схемах температура проведения процесса колеблется в пределах 150 - 270 °С, а давление составляет 2,5 - 20,3 МПа.

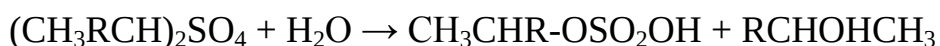
1.4 Выбор и обоснование конструкции основного аппарата

Есть два метода получения изопропилового спирта

Сернокислотная гидратация

Прямая гидратация

1. методом является предварительной абсорбции пропилена серной кислотой с образованием моно- и диалкилсульфатов (эфиры серной кислоты) и их последующем гидролизе водой:



В зависимости от реакционной способности пропилена и для подавления побочной полимеризации проводят абсорбцию при разных условиях: концентрация серной кислоты от 60 до 98%, температура от 0 до 70⁰С, давление от 0,2 до 2 МПа. Соотношение серной кислоты и пропилена берут таким, чтобы на 1 моль H₂SO₄ поглощалось 1,2 – 1,3 моль пропилена, что сокращает расход кислоты. При этих условиях, а также за счет гидролиза сульфатов водой, содержащейся в серной кислоте, реакционная масса состоит из моно- и диалкилсульфатов, H₂SO₄, воды, спирта и побочных продуктов – простого эфира и полимеров.

Для получения изопропилового спирта при гидратации серной кислотой используется два вида аппарата. Первый из них (рис. 1, а) является горизонтальным абсорбером с мешалкой, на валу которой укреплено большое число дисков. Внутреннее пространство абсорбера примерно на 1/3 заполнено H₂SO₄, которая при вращении дисков образует туман, что повышает поверхность контакта фаз. Тепло реакции снимается H₂O, циркулирующей в рубашке. Этот аппарат работает периодически, но применение каскада из нескольких абсорберов позволяет перейти на непрерывный процесс.

Более прогрессивным непрерывно действующим аппаратом является аппарат колонного типа с 20 – 25 колпачковыми тарелками с высоким уровнем жидкости на них (рис.1 б). На каждой тарелке в слое жидкости помещен трубчатый холодильник, через который циркулирует холодная вода, обеспечивающая отвод выделяющегося тепла. На верхнюю тарелку колонны подается свежая серная кислота необходимой концентрации, а из куба выходит реакционная масса заданного состава. Пропилен поступает снизу, противотоком к жидкости, барботирует через слой кислоты на каждой тарелке и выходит из колонны сверху, уже значительно разбавленным инертными примесями из исходного газа. В верхней части колонны имеется насадка, играющая роль брызгоуловителя [6].

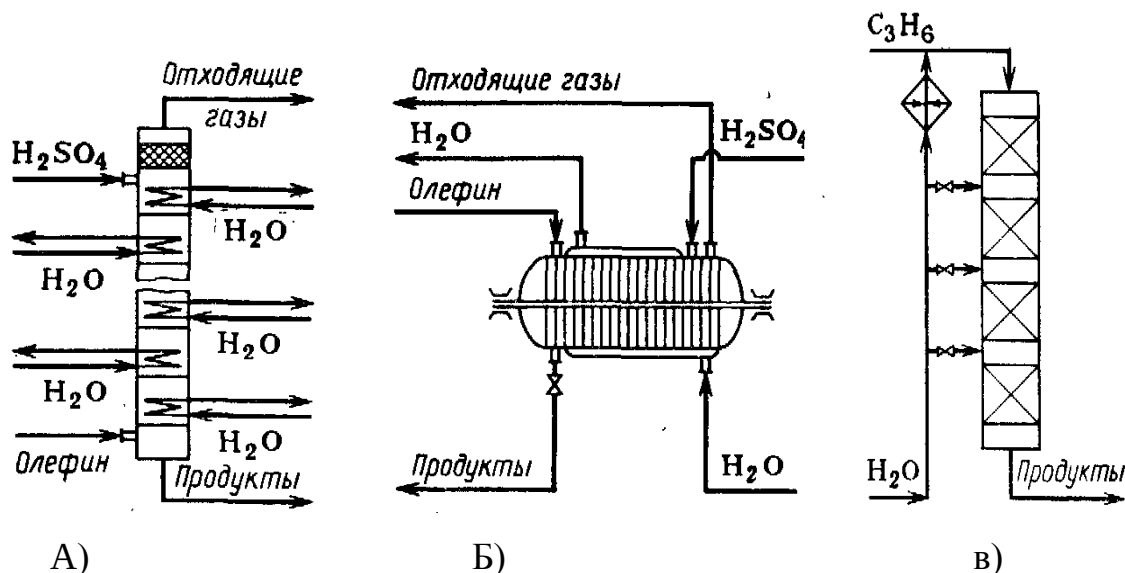


Рис. 2 Реакционные аппараты для гидратации пропилена

а - колонный тарельчатый абсорбер непрерывного действия

б- горизонтальный абсорбер с дисковой мешалкой

в- реактор с четырьмя слоями катализатора

Полученная на первом этапе реакционная масса поступает далее на следующий этап гидролиза сульфатов. Жидкость разбавляют водой и нагревают острым паром, в токе которого отгоняют спирт, простой эфир и полимеры. Их разделяют отстаиванием и ректификацией, получая спирт с выходом 90%. После гидролиза серная кислота имеет концентрацию 40 – 50%. Ее используют для получения сульфата аммония или концентрируют, чтобы

вернуть на абсорбцию и организовывать ее рециркуляцию. В наличии этой отработанной кислоты и необходимости ее утилизации состоит главный недостаток сернокислотной гидратации олефинов.

Разновидностью этого процесса является сернокислотный метод извлечения изобутена из C_4 -фракций. Он отличается тем, что спирт и алкилсульфат, содержащиеся в смеси, подвергаются расщеплению с образованием не спирта, а изобутена, являющегося целевым продуктом.

2. метод прямая гидратация пропилена - одностадийный гетерофазный процесс осуществляемый на твердом кислотном катализаторе. В зависимости от типа катализатора процесс может осуществляться в газовой фазе или жидкой фазе [6].

Наиболее распространенным катализатором для этого процесса является фосфорная кислота на твердом носителе (широкопористый силикагель, алюмосиликат). Выбор параметров процесса обусловлен экономическими соображениями, особенно снижением энергетических затрат на получение пара и рециркуляцию непревращенных веществ. Температура противоположным образом влияет на равновесие и на скорость; кроме того, ее повышение ведет к усиленной полимеризации пропилена и уносу фосфорной кислоты с носителя. Поэтому гидратацию этилена ведут при $260 - 300^{\circ}\text{C}$, когда для поддержания нужной концентрации H_3PO_4 в поверхностной пленке катализатора требуется высокое парциальное давление водяного пара ($2,5 - 3,0$ МПа). Чтобы повысить степень конверсии водяного пара, получить не слишком разбавленный спирт и этим снизить расход энергии, работают при некотором избытке этилена – $(1,4 - 1,6) : 1$. Это предопределяет выбор общего давления $7 - 8$ МПа, когда равновесная степень конверсии этилена равна $8 - 10\%$. Но фактическую степень конверсии поддерживают на уровне 4% , что позволяет работать при достаточно высоких объемной скорости (2000 ч^{-1}) и удельной производительности катализатора по спирту ($180-200 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$), получая после конденсации 15% этанол.[6]

Разбавление пропилена инертными примесями неблагоприятно сказывается на равновесии и скорости реакции. Поэтому исходный смесь должен быть достаточно концентрированным (97 – 99%). При его рециркуляции инертные примеси постепенно накапливаются, причем предельно допустимой считается 85% концентрация пропилена в рециркулирующем газе. Для ее поддержания необходимо отдувать часть рециркуляционного газа.

Реакция проводится в аппарате в колонном реакторе с четырьмя слоями катализатора при прямоточным движением (сверху вниз) газообразного пропилена и воды, омывающей зерна катализатора (рис 1,в). Он представляет собой полую стальную колонну диаметром 1,5 и высотой 16 м. Во избежание коррозии под действием фосфорной кислоты выкладывают корпус и днище листами красной меди. Катализатор насыпают в реактор высоким слоем на опорный перфорированный конус. Смесь пропилена и паров воды, предварительно нагретая до температуры реакции, поступает сверху, проходит слой катализатора и выводится из нижней части гидрататора. Ввиду малой степени конверсии и небольшой теплоты реакции не нужно иметь в аппарате специальные устройства для охлаждения. [6]

В процессе гидратации происходит постепенный унос фосфорной кислоты с поверхности носителя, и через 400 – 500 ч катализатор теряет активность. Для удлинения этого срока рекомендовано в процессе синтеза подпитывать катализатор фосфорной кислотой. Но и в этом случае катализатор со временем требуется заменять, так как на его поверхности появляются смолистые отложения, а носитель становится чрезмерно хрупким. Свежий катализатор готовят пропиткой носителя 60 – 65% фосфорной кислотой с последующей сушкой при 100⁰С. Он содержит 35% свободной фосфорной кислоты.

Для всех схем прямой гидратации пропилена характерно использование твердого катализатора, следовательно, выбор конструкции основного аппарата, проводим, основываясь на необходимости проводить гетерофазный процесс газ-твердое вещество или жидкость-твердое вещество.

Поскольку прямая гидратация пропилена протекает с незначительным выделением тепла и повышение температуры в слое катализатора можно регулировать подводом недостаточно нагретой воды, то конструкция аппарата должна соответствовать теплообмену с непосредственным контактом реагентов с катализатором. В то же время, процесс циклический и задействует значительное количество продуктов реакции [6].

Всем вышеперечисленным требованиям соответствует аппарат с неподвижным слоем или слоями катализатора [15].

Рисунок 2. - Схема реактора прямой гидратации пропилена

Следовательно, выбираем конструкцию основного аппарата: полый цилиндрический аппарат с несколькими слоями неподвижного катализатора.

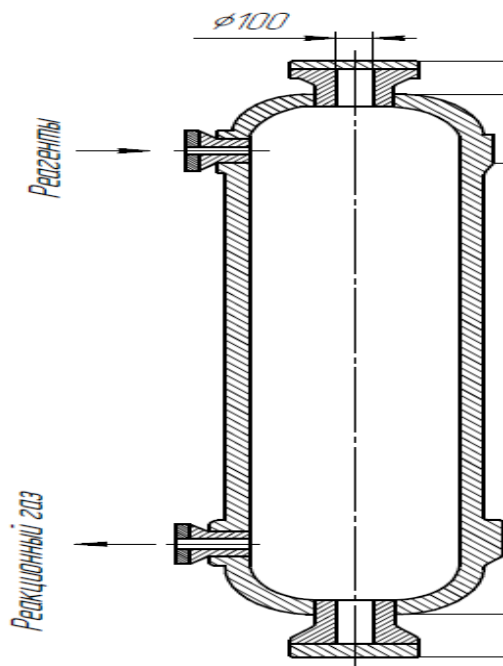


Рисунок 2.3 - Схема реактора прямой гидратации пропилена

1.5 Выбор и обоснование технологической схемы производства

Рассмотрим существующие промышленные схемы получения изопропилового спирта прямой гидратацией пропилена [1, 2, 6, 7, 9].

Жидкофазные процессы могут осуществляться на катализаторах сульфокатионите или поливольфрамовой кислоте нанесенной на SiO_2 и продуктом реакции выступает водный раствор изопропилового спирта [1, 2, 6, 7, 9].

В случае использования сульфокатионита процесс осуществляется при температуре 130 - 160 °С и давлении 8 - 10 МПа [1, 6, 7, 9]. Исходные вещества 92 масс. % пропилен и вода в молярном соотношении 1:12-15 моль/моль, селективность процесса по изопропанолу 93 %, степень конверсии пропилена 75 %. Для данной технологической схемы характерен высокий, сопоставимый с сернокислотной гидратацией, выход диизопропилового эстера - 5 %. Однако расходы на концентрирование пропиленового сырья минимальны [9].

Для процесса осуществляемого с использованием катализатора на основе поливольфрамовой кислоты параметры процесса: температура 270 °С, давление 20,3 МПа [1, 2, 6, 7, 9], содержание пропилена в исходном сырье 95 масс. %, степень конверсии пропилена 60 - 70 %, селективность по изопропиловому спирту 98 - 99 %. Основным преимуществом данной схемы относительно двух других, кроме высокой степени конверсии пропилена и селективности по пропанолу-2, является низкая кислотность катализатора и, следовательно меньшие затраты на изготовление оборудования [9].

Газофазный процесс осуществляется на фосфорнокислотном катализаторе (отрофосфорная кислота нанесенная на SiO_2) при температуре 280 - 330 °С и давлении 2,5 - 6,6 МПа [1, 2, 6, 7, 9]. В качестве исходных веществ в данной технологии используют газообразные 99 масс. % пропилен, воду. Селективность процесса по изопропанолу 96 %, степень конверсии пропилена 4,5 %. Низкая степень конверсии пропилена в этом процессе обусловлена невозможностью использования высоких давлений из-за конденсации воды на поверхности катализатора, что приводит к вымыванию ортофосфорной кислоты

с поверхности катализатора. В связи с этим для данной технологической схемы характерны значительные расходы на компрессию рециркулирующего пропилена [9].

Из всех рассмотренных технологических схем, наиболее экономически целесообразной является схема с применением катализатора на основе фосфорной (отрофосфорная кислота нанесенная на SiO_2) кислоты. Для данной схемы, в сравнении с двумя другими, характерны сравнительно невысокие затраты на концентрирование исходного пропиленового сырья и компрессию рециркулирующего пропилена. В связи с этим, выбираем для последующего расчета схему прямой гидратации пропилена с применением катализатора на основе фосфорной кислоты.

2 ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ

2.1 Описание технологической схемы

Технологическая схема процесса приведена на чертеже 1.

Пропиленовая фракция из цехов газоразделения через буфер 1 поступает на прием поршневого одноступенчатого компрессора 2. Сжатая до 6,8 МПа фракция поступает на смешение с обратным циркулирующим газом в кольцевой коллектор. Циркулирующим газом называют газ, который с нагнетательной линии компрессора 3, пройдя весь агрегат гидратации, возвращается на прием компрессора 3. Подпитанный свежим пропиленом циркулирующий газ из кольцевого коллектора идет на прием циркуляционных компрессоров 3. Обратный циркулирующий газ из аппаратов гидратации поступает в кольцевой коллектор после скруббера 13.

Компрессор 3 сжимается газ до давления не более 7,8 МПа и подает его в межтрубное пространство теплообменника 5, где газ подогревается за счет тепла обратного газа. Сжатый компрессором 3 газ принято называть прямым газом, а газ, прошедший реактор гидратации – обратным газом. [9, 14].

Прямой газ из теплообменника 5 поступает в межтрубное пространство теплообменника 10 где подогревается обратным циркулирующим газом до 190-215 °С. Из межтрубного пространства теплообменника 10 нагретый газ поступает в трубное пространство подогревателя 4, где паром высокого давления подогревается до 240-260 °С. Паровой конденсат из подогревателя 4 дросселируют до 0,6 МПа и собирают в пар отделителе, а оттуда отводят в цеховую емкость – сборник.

Образовавшийся при дросселированные пар отводят из пароотделителя в линию пара под давлением 0,6 МПа. Прямой газ после подогревателя 4 смешивается с паром высокого давления (7,8-9,8 МПа, 440 °С) в массовом соотношении 1: (035-043). Смешение происходит в тройнике перед реактором 9.[24]

Паро - газовая смесь при 273-295 °С поступает в верхнюю часть реактора (гидрататора) 9 и проходит сверху вниз через слой катализатора. Около 4% пропилена из паро- газовой смеси гидратируется при этом в изопропиловый спирт. [24]

Выходящий из реактора с температурой не выше 310 °С продукты уносят некоторое количество фосфорной кислоты. Для ее нейтрализации в паро – газовую смесь впрыскиваются водно – спиртовой раствор щелочи с концентрацией NaOH 0,25 -0,5 % (масс), подаваемый в тройник нейтрализации насосом 17 из емкости 16. Подщелочный водно- спиртовой конденсат готовят следующим образом : 42%- ный раствор NaOH (содержание NaCO₃ не более 2%, по Гост 2263-59) со склада поступает в сборник 19, откуда насосом 18 подается на смешение с водно-спиртовым конденсатом, поступающим из коллектора через холодильник 15.

Приготовленный конденсат собирается в емкости 16. Подачу конденсата регулируют по температуре паро-газовой смеси после тройника нейтрализации: она не должна быть выше 240 °С.

Нейтрализованная паро-газовая смесь и солевой раствор проходят последовательно трубное пространство теплообменника 10 и котлов – утилизаторов 7 и 8. Охлаждение паро – газовой смеси в котлах – утилизаторах проводится за счет испарения парового конденсата, подаваемого центробежным насосом из цеховой емкости – сборника. Из котла – утилизатора 7 отводится пар давлением 0,5-0,6 МПа , а из котла – утилизатора 8 пар давлением до 0,3МПа.[24]

Пар из котлов – утилизаторов направляют соответствующие коллекторы. Его используют при ректификации водно- спиртового конденсата, а избыток направляют в общезаводскую сеть. Паровой конденсат возвращают в цеховую емкость – сборник. Для компенсации потерь парового конденсата предусмотрена подача в емкость умягченной воды и парового конденсата из общезаводских коллекторов.

После котла – утилизатора 8 паро- газовая смесь и водно – спиртовый конденсат поступает в сепаратор 11, где конденсат отделяется от паро- газовой смеси. Паро- газовая смесь проходит затем последовательно трубное пространство теплообменника 5 и холодильника 6, в которых происходят охлаждение циркулирующего газа до 35°C и конденсация паров спирта – воды. Обратный газ и водно – спиртовый конденсат из холодильника 6 поступают в скруббер 13. Там спирт из циркулирующего газа отмывают фузельной водой, получаемой при ректификации концентрированного водного – спиртового конденсата. Обратный газ из скруббера 13 поступает в кольцевой коллектор, а водно- спиртовый конденсат (концентрированный) дросселируют до давления не выше 6 кгс/см^2 и отводят в емкость 12(1). Оттуда концентрированный водно-спиртовый конденсат проходит через межтрубное пространство теплообменника 14, где подогревается, и уходит на ректификацию.

Слабый водно – спиртовый конденсат из сепаратора 11 дросселируется до давления не более 6 кгс/см^2 , поступает в емкость 12(2), далее проходит теплообменник 14, где охлаждается , и тоже направляется на ректификацию. Часть конденсата после холодильника 14 проходит межтрубное пространство холодильника 15 и поступает в емкость 16 на приготовление подщелоченного водно- спиртового конденсата. Избыток слабого и концентрированного водно – спиртового конденсата при необходимости сбрасывают в емкость 20. Для подачи конденсата из емкости 20 на ректификацию установлен насос 21.

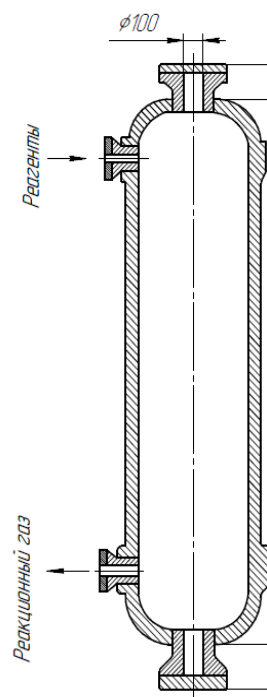
В газоотделителях 12 (1) и 12(2) вследствие сброса давления до 0,6 МПа происходит выделение газов , растворенных в конденсате. Эти отдуваемые газы, проходя имеющийся на каждой емкости 12 небольшой скруббер с насадкой, орошаемой фузельной водой для отмывки паров спирта, на коллектору отдувки низкого давления поступают в цех газоразделения (совместно с газом пиролиза) [24].

2.4 Технологический расчет основного аппарата

2.4.1 Описание реактора прямой гидратации пропилена

Реактор прямой гидратации пропилена имеет большую толщину стенок и малый диаметр корпуса. Корпус выполнен цельнокованым, верх и низ аппарата полукругло загнуты в горячем состоянии и затем отождены.

Аппарат рассчитан на работу под давлением, поэтому диаметр его невелик (1-1,5 м), а толщина стенок составляет 70 мм, высота 16 м. В аппарат засыпан инертный носитель и кольца Рашига для уменьшения уноса фосфорной кислоты, являющейся катализатором, и создания подпорного слоя. На этих подборных слоях располагается катализатор. Объем катализатора 8 м³. Так как катализатором служит жидкая фосфорная кислота, то для получения пористого слоя катализатора ею пропитывается пористый алюмосиликатный шариковый носитель. Для защиты корпуса от действия фосфорной кислоты аппарат облицован изнутри листовой медью толщиной 1 мм. В штуцеры вставлены втулки из нержавеющей стали. Герметичное соединение втулок с медной футеровкой осуществляется серебряной пайкой в среде аргона. Таким образом вся внутренняя поверхность, соприкасающаяся с фосфорной кислотой, оказывается футерованной. На ответственных заводах аппараты могут изготавливаться с верхней и нижней крышками.



3

3. Финансовый менеджмент

Целью экономического расчёта является определение расходов на производство изопропилового спирта, рассчитать себестоимость 100 тыс. тонн изопропилового спирта.

3.1. Расчет производственной мощности и производственной программы

Производственная мощность – это максимально возможный выпуск продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании в течение года оборудования и производственных площадей, применении прогрессивных технических норм производительности оборудования и удельных норм расхода сырья и материалов. Под производственной мощностью оборудования следует понимать его максимальную способность выпускать продукцию за определенный календарный период времени при наилучших организационно-технических условиях. Производственная мощность выражается количеством выпускаемой продукции и измеряется в натуральных единицах.

Все аппараты цехов химических предприятий делятся на несколько групп:

1. основное оборудование;
2. вспомогательное оборудование;
3. аппараты, выполняющие подготовительные функции.

Поскольку производственный процесс является непрерывным, на предприятии планируется общую остановку на капитальный ремонт.

Расчет производственной мощности осуществляется по формуле:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где $P_{\text{час}}$ – часовая производительность ведущего оборудования, кг/час;

$P_{\text{час}} = 12\,500$ кг/ч из данных материального баланса;

n – количество однотипного оборудования, $n = 1$.

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы оборудования за год по выпуску данного вида продукции, 8000 час;

$$M=12\,500*8000*1=100\,000 \text{ т/год}$$

Таблица 26- Производственная программа выпуска продукции

Этапы загрузки мощности, %	100
Объем производства, тыс.т/год	100
Цена за единицу продукции, руб./т	37640,00
Объем продаж, тыс.руб.	4321,072

3.2 Расчет годового фонда заработной платы персонала установки

На предприятиях химической промышленности в зависимости от условий труда и степени вредности производства длительность рабочего дня составляет 12 часов. Поэтому возникает потребность в организации постоянной работы. Для этого на заводе организована 2-х сменная работа и составляется график сменности, т.к. работает 4 бригады (А, Б, В, Г) с дополнительными днями отдыха.

Таблица 27- График сменности рабочих

Сме на	Время	Дни выходов																	
										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	8-20																		

продолжение таблицы 27

2	20-8																			
Отсыпной																				
Выходной		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	Б

Из графика сменности можно рассчитать величину сменоборота:

$$T_{см-о} = a * b,$$

где

$T_{см-о}$ - длительность сменоборота;

a - количество бригад;

b - количество дней, в течение которых бригада работает одну смену.

$$T_{см-о} = 4 * 2 = 8 \text{ дней}$$

Сменоборот позволяет нам определить количество выходных дней:

$$T_{вых} = \frac{T_{кал}}{T_{см-о}} * n,$$

где

$T_{вых}$ - количество выходных за год;

$T_{кал}$ - время календарное;

n - количество выходных за один сменоборот.

$$T_{вых} = \frac{365}{8} * 2 = 91 \text{ день}$$

Зная количество выходных за год, можно определить эффективное время работы за год:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{вых} - T_{отп} - T_{нев},$$

где

$T_{эфф}$ - эффективное время рабочего;

$T_{нев}$ - количество невыходов=10 дн.

$$T_{эфф} = 365 - 91 - 31 - 10 = 233 \text{ дня}$$

Рассчитаем количество эффективного времени в часах:

$$T_{эфф} = 233 * 12 = 2796 \text{ часов}$$

Основная зарплата основных рабочих

(ЗОСН)= ЗТАР+ДПРЕМ+ДНВ+ДПР+ДФМ+ДБР

ДПРЕМ -20 – 80 % от ЗТАР= 50%

ДНВ- 40 % от (ТСТ tНВ),=56 часов

ТСТ - тарифная ставка соответствующего разряда рабочего- за час 100 р

ДПР - ТПР *ТСТ*НЯВ, =5*100*33,3=16 650

где ТПР – количество праздников в году;

НЯВ – явочная численность рабочих

ДФМ- 3% от ЗТАР

Полагается только бригадирам

Норма времени за месяц = $2796/12=233$ часов

За час 233

$(ЗОСН)=100*233+23300*50\%+56*100+5*100*33,3+23300*3\%=49205*12=59$

$0460*111 \text{ чел} = 65730000$

Сумма амортизационных отчислений (АО) определяется по формуле:

$АО=С_{\text{оф}} * Н/100\%$,

где $С_{\text{оф}}$ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб;

$Н$ - норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.- 45%

$АО = 428888889*45\%/100=19300000$

$АО = 1053333333*45\%/100=4740000$

Результаты расчетов необходимо свести в табл.18.

Расчет амортизационных отчислений и

остаточной стоимости основных фондов

№ п/п	Наименование основных фондов	норма аморти зации, %	1-ый год		2-ой год	
			$С_{\text{оф}}$, тыс.руб	$О_1$, тыс. руб	$О_2$, тыс. руб.	Оста- точная стои- мость, тыс.ру б.
1	Здания, сооружения		428888889	930000	316000	386000
2	Машины и		1053333333	40000	688000	948000

	оборудовани е					
	Итого		6670000	670000	8004000	1334000

3.3 Планирование себестоимости продукции

Калькуляция себестоимости 1 тонны продукции

$N_{2016} = 100$ тыс.т/год

Показатели	2016г. q=100 тыс.	
	на 1 т готовой продук ции	на весь объем
1 Сырье и материалы	24967,6	2496760000
2 Электроэнергия	91,0	9100000
3 Заработная плата основных рабочих	657,3	65730000
4 Отчисления на соц. нужды основных рабочих	170,9	17090000
5.1 Амортизация зданий технологического назначения	19,3	1930000
5.2 Амортизация оборудования	47,4	4740000
5.3 Производственная (цеховая) себестоимость	2756,9	275690000
6.1 Заводская себестоимость (15%)	3170,5	317050000
6.2 Коммерческие расходы (5 %)	158,5	15850000
6.3 Общехозяйственные расходы.	587,5	58750000
$U_{\text{перем}}$	25886,8	2588680000

$U_{\text{пост}}$	6740,1	674010000
Полная себестоимость	32626,9	3262690000

Расчет цены

Цену 1 тонны продукта рассчитываем по формуле:

$C = C \cdot (1 + P/100)$; где P – рентабельность 20 %; C – себестоимость;

$C_T = 32626,9 \cdot (1 + 20/100) = 39152,27$ руб.

$C_0 = 3262690000 \cdot (1 + 20/100) = 3915228000$ руб.

3.4. Построение точки безубыточности.

Точки безубыточности - минимальный объем продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

$U_{\text{пост}} = 6740,1$ руб./т.

$U_{\text{перем.}} = 25886,8$ руб./т.

$Q = 100$ тыс.т. (объем продаж).

$U_{\text{пост}} \cdot Q = 6740,1 \cdot 100 = 674010,0$ руб.

$U_{\text{перем.}} \cdot Q = 25886,8 \cdot 100 = 2\,588\,680$ руб.

$U = U_{\text{пост}} + U_{\text{перем.}} = 3262690$ тыс.руб.

Тогда точка безубыточности определится следующим образом:

$Q_{\text{кр}} = U_{\text{пост}} / (C_{1\text{т}} - U_{\text{перем.1т.}}) = 13265,47$

$Q_{\text{кр}} = 674010,0 / (39152,27 - 25886,8) = 50,80$ т.

Таким образом, объем производства и реализации для погашения постоянных затрат должен составлять на менее 50,80 т/год.

По результатам вычислений строим графики безубыточности.

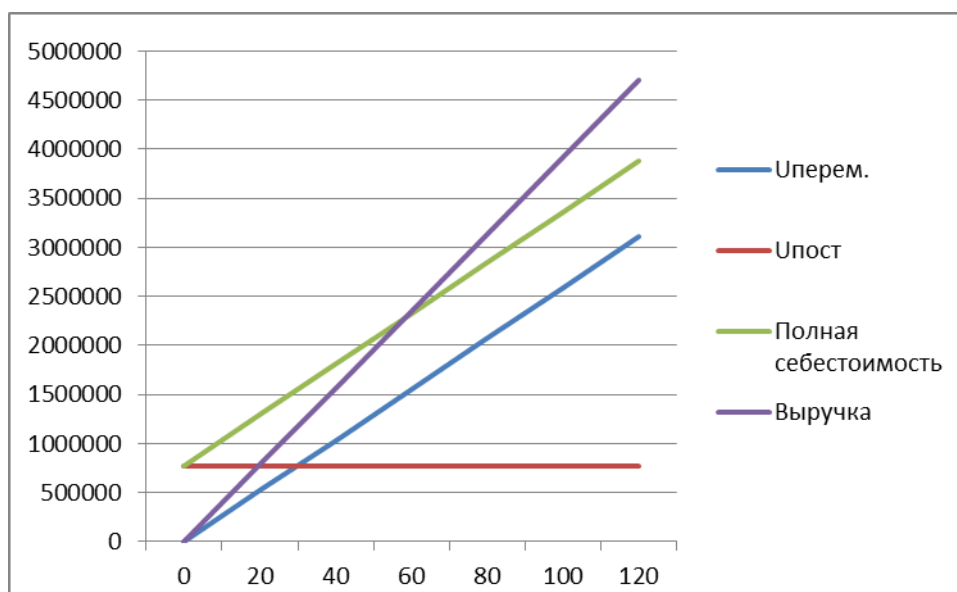


Рисунок 3- График безубыточности на год.

3.5 Техничко-экономические показатели

Таблица 29- Техничко-экономические показатели

Наименование показателей	Ед. измерения	Плановый год
1. Объем производства	тыс.т	100
2.Объем продаж	тыс.т.	100
3. Цена 1т.	руб.	39152,27
4. Выручка от продажи	т.руб.	4494680,94
5. Издержки	т.руб.	3262690
5.1. Издержки переменные	т.руб.	2 588 680
5.2. Издержки постоянные	т.руб.	674010,0
6. Балансовая прибыль	т.руб.	749113,49
7. Налог на прибыль	т.руб.	97384,75
8. Чистая прибыль	т.руб.	651728,74
9. Себестоимость 1 тонны	т.руб.	32626,89
10.Среднегодовая стоимость основных средств.	т.руб.	4742300,00
11.Численность основных рабочих	чел.	16,00
12. Фондовооружённость.	т.руб/	296393,75

	чел.	
13. Фондоотдача	т.руб/т. руб	0,95
14. Фондоёмкость	т.руб./т .руб	1,06
15. Производительность труда	т.руб/ Чел.	280917,56
16. Рентабельность производства	%	17,40
17. Рентабельность продаж	%	14,50
18. Точка безубыточности Qкр.	тыс. т.	58,33
19. Точка безубыточности Qкр.	тыс.руб	2283717,07