

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

(наименование кафедры)

18.03.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Химическая технология органических и неорганических веществ

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Оптимизация процесса полимеризации капролактама в полиамид
б»

Студент

А.С. Солдатов

(И.О.Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.х.н., О.Б Григорьева

(И.О.Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.х.н., профессор Г.И. Остапенко

(ученая степень, звание, И.О.Фамилия)

(личная подпись)

« » _____ 2019г.

Тольятти 2019

Аннотация

Бакалаврская работа содержит 73 страниц , 8 таблиц, 6 графических листов.

Объектом исследования является: оптимизация процесса полимеризации капролактама в полиамид 6.

Цель работы – изучение результата использования вакуума в реакторе полимеризаторе.

В литературном обзоре рассмотрен и систематизирован материал о процессе полимеризации капролактама, обоснован выбор метода проведения процесса.

В расчетно-технологическом разделе приведены характеристика сырья и готовой продукции, теоретические основы процессы, а так же описание технологической схемы процесса полимеризации. Расчеты материального и теплового балансов, расчеты основного и вспомогательного оборудования. Результаты материального баланса, подтвердили увеличение селективности, благодаря использованию вакуума на стадии полимеризации получения полиамида 6.

Abstract

The title of the bachelor's thesis is Optimization of the process of polymerization of caprolactam in polyamide 6 synthesis at "KuibyshevAzot" PJSC. In the literature review, the material on the process of polymerization of caprolactam was reviewed and systematized, the choice of the method of conducting the process was justified.

The key issue is the study of the use of vacuum in the polymerization reactor.

The bachelor's thesis consists of an introduction, a theoretical part, a technological part, a calculation part, a conclusion, and the list of 52 references, some of which are foreign sources. The work consists of 73 pages, 8 tables.

In the technological part, we focus on all the important stages in the production of polyamide 6 at the enterprise "KuibyshevAzot" PJSC.

The calculation part contains the calculation of the block under study and also considers the possibility of solving the set task.

At the end of the thesis, we draw conclusions on the work done.

Содержание	
Введение.....	7
1 Теоретическая часть ВКР.....	10
1.1 Литературный обзор.....	10
1.1.1 Описание технологического процесса.....	10
1.1.2 Кинетика и механизм процесса полимеризации.....	12
1.1.3 Новые синтезированные полиамиды с цианиновым хромофором в основной цепи.....	15
2 Расчетно-технологическая часть.....	18
2.1. Характеристика сырья и готового продукта.....	18
2.2. Описание технологическое схемы.....	26
2.3. Производственный контроль.....	32
2.3.1 Аналитический контроль.....	32
2.3.2 Нормы технологического режим.....	34
2.4 Техничко-технологические расчеты.....	36
2.4.1 Материальный баланс.....	36
2.4.2 Энергетический баланс.....	38
2.4.3 Технологический расчет оборудования.....	40
2.4.3.1 Расчет основного аппарата.....	40
2.4.3.2. Расчёт вспомогательного оборудования.....	49
3 Безопасность и экологичность объекта.....	58
3.1 Общие положения.....	58
3.2 Обеспечение пожарной безопасности на производственном месте.....	59
3.3 Характеристика опасностей производства.....	60
3.4 Меры безопасности при ведении технологического процесса, выполнение регламента.....	61
3.5 Способы обезвреживания и нейтрализации продуктов производства при разливах и авариях.....	63

3.6 Обеспечение электробезопасности на производственном участке.....	64
3.7 Требования безопасности при складировании и хранения сырья.....	65
Заключение.....	68
Список используемой литературы.....	69

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей работе применяют следующие сокращения и термины:

ПКА поликапроамид

ПА-6 полиамид-6

ЧРП частотный регулятор привода

ОУ огнекислотный огнетушитель

ЦПУ центральный пульт управления

Ррт миллионная доля

КИП контрольно измерительные приборы

ГЖ горючие жидкости

ПДК предельно допустимая концентрация

ПШ противогаз шланговый

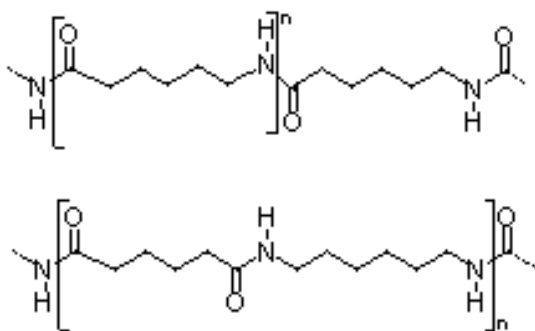
ВВЕДЕНИЕ

Полиамид 6 или поликапролактан - это полимер, разработанный Полом Шлаком из IG Farben для воспроизведения свойств полиамида 6,6 без нарушения патента на его производство. (Примерно в то же время КохейХосино из Торая также преуспел в синтезе полиамида 6). Это полукристаллический полиамид. В отличие от большинства других полиамидов, полиамид 6 не является конденсационным полимером, а вместо этого образуется путем полимеризации с раскрытием кольца; это делает его особым, при сравнении конденсационных и аддитивных полимеров. Его конкуренция с полиамидом 6,6 и пример, который он показал, также сформировали экономику индустрии синтетических волокон. Он продается под многочисленными торговыми марками, включая Perlon (Германия), Dederon (бывшая Восточная Германия), Nylatron, Capron, Ultramid, Akulon, Carlon (бывшие Советский Союз и государства-сателлиты) и Durethan.

Полиамид 6 может быть модифицирован с использованием сомономеров или стабилизаторов во время полимеризации, чтобы ввести новые концевые или функциональные группы цепи, которые изменяют реакционную способность и химические свойства. Это часто делается, чтобы изменить его окрашиваемость или огнестойкость. Полиамид 6 синтезируют полимеризацией с раскрытием кольца из капролактама. Капролактан это органическое соединение, бесцветное твердое вещество которое представляет собой лактам или циклический амид капроновой кислоты. Примерно 4,5 миллиарда килограммов производится ежегодно. Капролактан является как раз предшественником полиамида 6, широко используемого синтетического полимера. Когда капролактан нагревают при температуре около 533 К в инертной атмосфере, в атмосфере азота в течение приблизительно 4-5 часов, кольцо раскрывается и подвергается полимеризации. Затем расплавленная масса пропускается через фильеры для формирования волокон из полиамида 6.

Во время полимеризации амидная связь внутри каждой молекулы капролактама разрывается, причем активные группы на каждой стороне образуют две новые связи, когда мономер становится частью основной цепи полимера. В отличие от полиамида 6,6, в котором направление амидной связи меняется на каждую связь, все амидные связи полиамида 6 лежат в одном направлении.

Рисунок 1.



Волокна из полиамида 6 являются прочными, обладают высокой прочностью на растяжение, а также упругостью и блеском. Они устойчивы к морщинам и очень устойчивы к истиранию и химическим веществам, таким как кислоты и щелочи. Волокна могут поглощать до 2,4% воды, хотя это снижает прочность на разрыв. Температура стеклования полиамида 6 составляет 47 °С.

Как синтетическое волокно, полиамид 6, как правило, белый, но его можно покрасить в ванне с раствором до производства для получения других цветовых результатов. Его прочность на разрыв составляет от 6 до 8,5 г/день при плотности 1,14 г/см³. Его температура плавления составляет 215°С.

В настоящее время полиамид 6 является наиболее значительным строительным материалом, используемым во многих отраслях, например, в автомобильной, авиационной, электронной, электротехнической промышленности, швейной промышленности и медицине. Годовой спрос на полиамиды в Европе составляет миллион тонн. Они производятся всеми ведущими химическими компаниями.

Крупнейшие производители полиамида 6 в Европе:

1. BASF - 240 000 тонн в год;
2. Lanxess - 170 000 тонн в год;
3. Радичи - 125 000 тонн в год;
4. ДОМО - 100 000 тонн в год;
5. GrupaAzoty - 100 000 тонн в год.

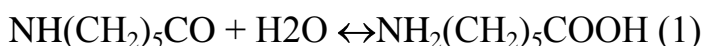
Разрабатываемая в бакалаврской работе технология создания вакуума в полимеризаторе позволит получать расплав, который имеет большую вязкость и даст возможность увеличить цену продукта и уровень продаж. Создание вакуума снизит затраты природного газа.

1 Теоретическая часть

1.1 Литературный обзор

1.1.1 Описание технологического процесса

Гидролитическая полимеризация ϵ -капролактама представляет большой интерес, так как этот метод используется для промышленного производства волокнообразующих полиамидов. Используемый в процессе активатор (вода) не дорогой и легко растворяется в капролактаме, не меняет свои свойства с повышением температуры [2]. В процессе получения полиамида можно выделить три реакции, каждая из которых является обратимой. Первая – реакция гидролиза, вторая – поликонденсации, третья – полиприсоединения. Данные реакции протекают как последовательно, так и параллельно. В результате гидролиза мономера разрывается связь С-Ни образуется аминокaproновая кислота. Вода в этой реакции является активатором [2]:



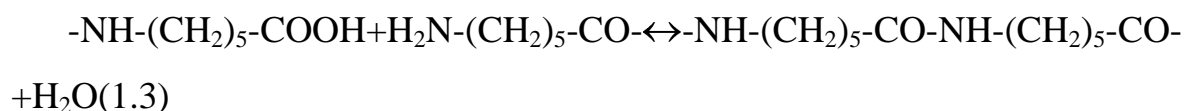
Амидные группы -NHCO- образуются при конденсации линейных цепей, которые имеют различную длину:



В результате присоединения капролактама к концевым группам цепи (полиприсоединение) происходит дальнейший рост цепи:



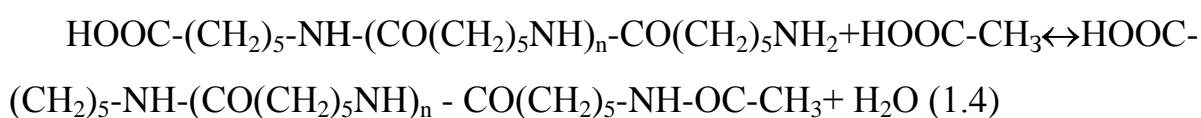
Третья стадия полимеризации обуславливает рост макромолекул поликапроамида:



Для сдвига равновесия в сторону образования большего количества амидных связей, что приводит к увеличению молекулярной массы, необходимо удалять воду из реакционной среды [3]. На финальном этапе реакции полимеризации происходит замедление, а в заключении и остановка роста молекулярной цепи.

Это происходит по двум основным причинам, первая – это поликонденсация макромолекул по концевым карбоксильным и аминогруппам, вторая – потеря в результате побочных реакций концевых групп.

Для влияния на степень полимеризации и стабилизации молекулярной массы в процессе получения целевого продукта, как правило, применяют регуляторы цепи, их действие зависит от концентрации. При добавлении в качестве регулятора молекулярной массы раствора уксусной кислоты можно сдвинуть амидное равновесие влево, при этом так же ограничивается неконтролируемый рост цепи и гарантируется получение ПКА с постоянной вязкостью:



При этом остановка роста молекулярной цепи, в дополнение к описанному ранее, происходит в результате:

- блокирования концевых групп молекулами регулятора;
- экстракции мономера и олигомеров, имеющих реакционные концевые группы.

1.1.2 Кинетика и термодинамика процесса

Гидролитическая полимеризация капролактама в несколько стадий представляет собой непростую систему равновесных реакций синтеза и разрушения, называемую полимеризационным равновесием. Среднюю степень полимеризации вычисляют по формуле:

$$P_n = (K_a/n) \quad (1.5)$$

где K_a - константа амидного равновесия;

n - число молей воды, приходящей на одно элементарное звено полимера;

P_n - средняя степень полимеризации.

Для вычисления K_a предложено следующее простое уравнение:

$$\lg K_a = -0,3 + 1495/T \quad (1.6)$$

где T - температура полимеризации К.

Когда не применяются никакие активаторы, кроме воды, константа амидного равновесия определяется по уравнению:

$$\lg P_n = 5,97 - 1253/T - 0,5 \lg P_{H_2O} \quad (1.7)$$

где P_{H_2O} – давление паров воды (Па) при температуре T (К);

а P_n – средняя степень полимеризации.

Так, при полимеризации капролактама при температуре 270°C и содержании воды в системе 1,2% масс.в соответствии с уравнением (1.8) K_a составляет 282, а средняя степень полимеризации P_n в соответствии с уравнением (1.9) и при содержании воды 1,2% масс.

$$n = 1,2[113/(18 \cdot 100)] = 0,075 \quad (1.9.1)$$

где n - число молей воды, приходящиеся на 1 моль мономера;

113- молекулярная масса мономера.

При молекулярной массе элементарного звена 113, средняя молекулярная масса полимера составит $113 \cdot 3342 = 377646$. Безусловно, увеличение содержания воды в реакционной массе приведет к уменьшению молекулярной массы полимера. Повышение температуры реакции ускорит процесс полимеризации, но сдвинет полимеризационное равновесие, как и любой другое равновесие, в сторону образования мономерных и олигомерных продуктов. Из основных

реакций полимеризации самой медленной реакцией будет реакция раскрытия цикла. Константа скорости ее для температуры плюс 260⁰С составляет $K_1=0,004$ кмоль/л·час, а для реакции роста цепи $K_2=4,75$ кмоль/л·час, а для реакции $K_3=4,9$ кмоль/л·час. Таким образом, именно реакция раскрытия цикла будет определять температуру и продолжительность процесса полимеризации. Кроме того, на температуру и продолжительность процесса оказывает влияние скорость растворения образовавшегося полимеров в жидком капролактаме. Вместе с этим к концу полимеризации температуру следует снизить, чтобы уменьшить в полимере содержание мономера и олигомера.

Таблица 1. Количество непрореагировавшего капролактама в полимере [10].

Температура полимеризации ⁰ С	225	235	245	255	265
Содержание капролактама в реакционной смеси, % масс.	5,87	6,51	7,42	8,88	9,37

Из кинетических предпосылок температура полимеризации поддерживается в пределах 270-275⁰С, а значит оставшееся содержание капролактама будет еще выше. Поскольку содержание незаполимеризовавшегося капролактама в полимере не должно быть выше 3% масс, технологией предусмотрена операция демомеризации, заключающаяся в отмывке мономера водой, хотя эта операция и приведет к появлению значительного количества экстракционных вод. В дипломном проекте предусмотрено отделение экстракции. Применительно к этому полимеру термин демомеризация означает удаление не только мономера, но и высококипящих циклических олигомеров. Обработка гранулята водой с температурой плюс 268-393⁰С позволяет снизить содержание в полимере олигомеров которые имеют циклы даже до 0,5%, но это приводит к образованию весьма больших объемов экстракционных вод. Экстракционные воды идут на восстановление капролактама. Таким образом, представляется достаточно очевидным, что в

принципиальном плане совершенствование технологии полиамида 6 методом гидролитической полимеризации должно идти по двум путям:

-разработка технологии и аппаратного оформления процесса, позволяющих получать полимер с макромолекулами строго линейного строения;

-поиск технических решений, обеспечивающих снижение в полимере на стадии его синтеза количества циклических олигомеров до более безопасного, с точки зрения качества формуемых нитей, уровня и возможность удаления непрореагировавшего капролактама способом, не требующим применения жидкостной экстракции. Это касается полимера для формирования нитей. Производство полиамида 6 литевых марок само по себе едва ли нуждается в таких совершенствованиях, хотя улучшение его технико-экономических и экологических показателей, безусловно, целесообразно [10].

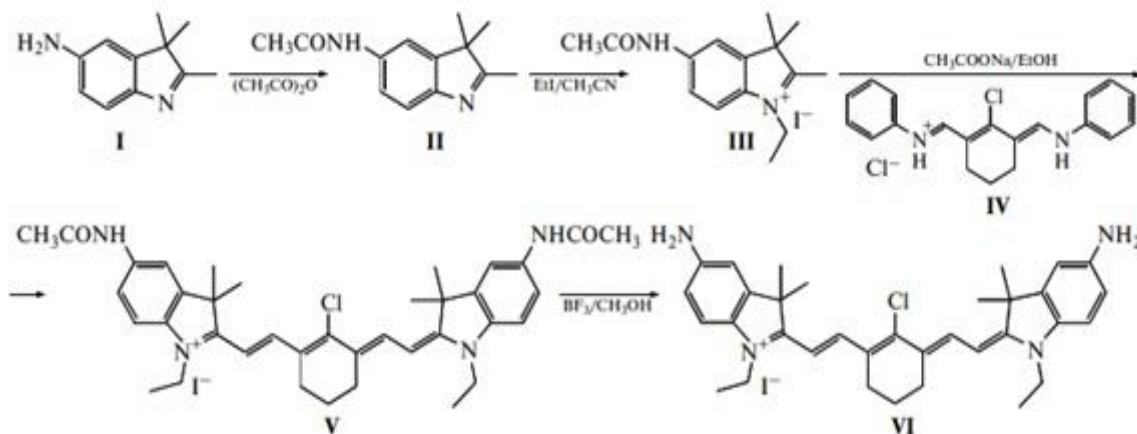
1.1.3 Новые синтезированные полиамиды с цианиновым хромофором в основной цепи

Хромофорсодержащие полимерные системы имеют значительный интерес для различных использований в оптической электронике. Их можно применять как нелинейно-оптические материалы в электрооптических модуляторах световых сигналов [65], в оптике сверхкоротких лазерных импульсов, в качестве материала для голографических записывающих устройств [63]. В зависимости от способа включения хромофоры в полимерную матрицу, существуют два типа хромофорсодержащих полимерных систем: Системы «гость» - «хозяин», в которых молекулы хромофора («гость») рассеяны в полимере матрицы («хозяин») [64] и системы с люминофорными группами рассчитанные на основные [65] или боковые цепи [66] полимеров. По сравнению с полимерами, содержащими ковалентно присоединенные хромофорные группы, полимерные системы гость-хозяин страдают от ряда существенных недостатков [67]: ограниченная растворимость хромофоров в полимере из-за их несовместимости, гетерогенное распределение хромофоров в образце, низкая фотофизическая стабильность при низкой температуре, нестабильность свойства из-за диффузии хромофоров и для их микрокристаллов внутри полимера, низкое оптическое качество образцов и высокий уровень оптических потерь из-за рассеяния света от структурной неоднородности. Полимеры с ковалентным соединением хромофорных групп не имеют этих недостатки.

Большое внимание обращается на то, что ряд фотофизических характеристик хромофорсодержащих полимеров (например, их фотопроводимость и связанное с этим фоторефрактивные связи) зависят от межмолекулярных взаимодействий между π -сопряженными фрагментами хромофорных групп и их ориентационное распределение в полимерной матрице. Поэтому значительное внимание было уделено исследованию ориентационного эффекта Керра в растворе рассматриваемых полимеров.

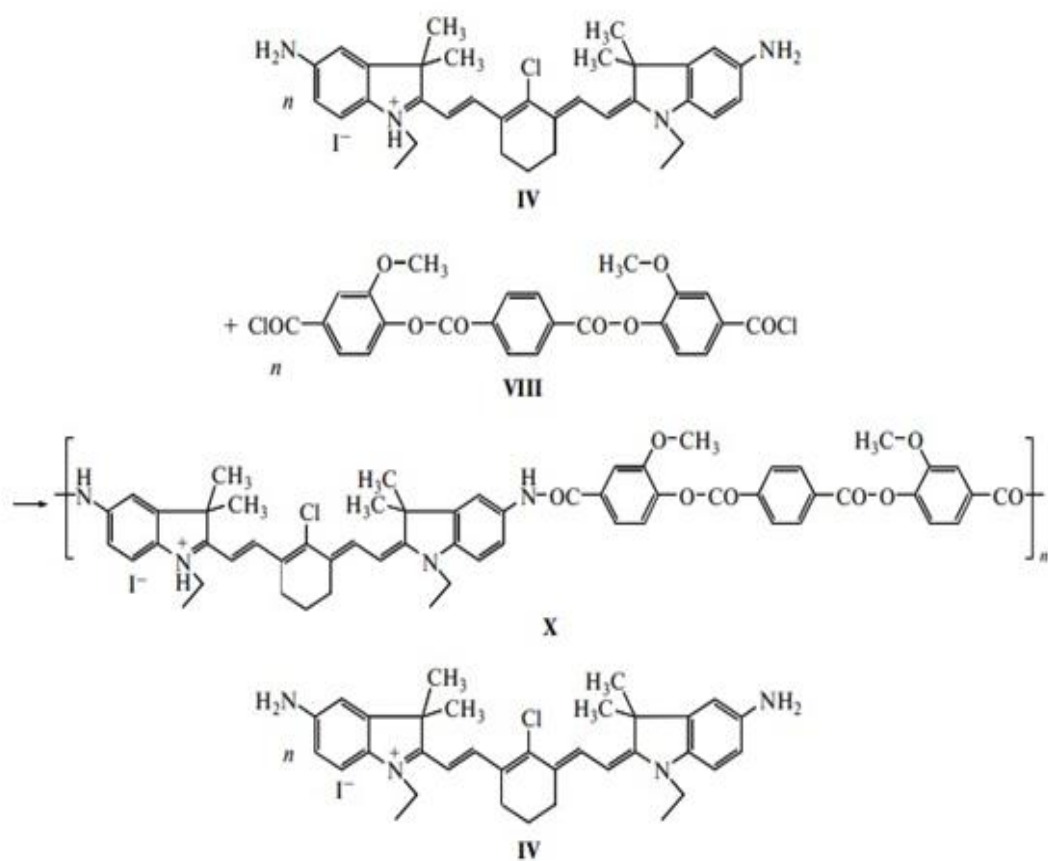
В качестве мономера использовали две аминогруппы для синтеза хромофорсодержащих полимеров в виде нового мономера. Это соединение было синтезировано в соответствии следующей схемы:

Рисунок 2.



Диамин VI и ароматические диамины были использованы в низкотемпературной поликонденсации для получения гомополимер X, содержащий хромофоры в каждой повторяющейся единице полимера и для получения сополиамидов XI, XII, XIII и XIV, которые содержали 10 мол.% хромофора, так как эта концентрация вполне достаточна, что бы синтезированные материалы проявляли эффект Керра. В качестве сомономера был использован терефталойл-бис (3-метокси-4-оксибензойной) кислоты (VIII), потому что, как и было показано ранее, полиамиды с высокой характеристической вязкостью могут быть получены на его основе. Пленки полученных полимеров проявляют хорошую термическую стабильность и высокие механические характеристики.

Рисунок 3.



2 Расчетно-технологическая часть

2.1. Характеристика сырья и готового продукта

Техническое наименование продукта: полиамид 6 (ПА-6), должен соответствовать требованиям Российского отраслевого стандарта Полиамид 6 ОСТ 6-06-09-93. Показатели качества и нормы представлены в таблице 2 [10].

Таблица 2. Характеристика готовой продукции.

Наименование	Регламентируемые показатели	Примечание
Полиамидный гранулят	Относительная вязкость от 2,4-2,8 Массовая доля экстрагируемых веществ – не более 0,5% по массе. Массовая доля влаги – не более 0,06%. Размер гранул – 2,2-2,5 мм. Температура плавления – 218-222 ⁰ С. Относительная вязкость в H ₂ SO ₄ – от 2,4 до 2,8(регулируемая). Содержание циклических димеров – не более 0,08% по массе. Вес 100 гранул – 1,0-1,2 грамм.	Неуказанные в регламенте, показатели качества полиамида ПА-6 должны соответствовать ОСТ 6-06 -С9-93

	Концевые аминогруппы - 45±5 моль- эквивалент/кг. Плотность – 1,12-1,15 г/см ³	
--	--	--

Основные физико-химические свойства продукта:

Полиамид 6 (ПА-6) в гранулах не является токсичным продуктом и при нормальных условиях не оказывает вредного воздействия на организм человека.

Запах- без запаха

Удельный вес – 1,1 г/см³ при температуре +20⁰С

Насыпной вес - 650 кг/м³

Твердость не менее 100 МПа

Продукт нерастворим в воде, при низких температурах полиамид поглощает до 5% воды от массы полимера, неустойчив к действию кислот и щелочей. Все данные соответствуют паспорту безопасности для полиамида 6 по ОСТ 6 -06-С9-93.

Область применения: полиамид 6 предназначен для изготовления технических изделий, применяемых в машиностроении, автомобилестроении и других областях индустрии [10].

Характеристика полимера охватывает множество методов определения химического состава, молекулярно-массового распределения и физических свойств. Общие методы включают в себя следующее:

1)Эксклюзионную хроматографию по размеру (также называемую геле-проникающей хроматографией), иногда в сочетании со статическим рассеянием света, можно использовать для определения среднечисленной молекулярной массы, средневесовой молекулярной массы и дисперсности.

2) Методы рассеяния, такие как статическое рассеяние света и малоугловое рассеяние нейтронов, используются для определения размеров (радиуса вращения) макромолекул в растворе или в расплаве. Эти методы также используются для характеристики трехмерной структуры разделенных микрофазами блочных полимеров, полимерных мицелл и других материалов.

3) Широкоугольное рентгеновское рассеяние (также называемое широкоугольной рентгеновской дифракцией) используется для определения кристаллической структуры полимеров (или ее отсутствия).

4) Спектроскопические методы, в том числе ИК-Фурье - спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния и спектроскопии ядерного магнитного резонанса, может быть использован для определения химического состава.

5) Дифференциальная сканирующая калориметрия используется для характеристики тепловых свойств полимеров, таких как температура стеклования, температура кристаллизации и температура плавления. Температура стеклования также может быть определена путем динамического механического анализа.

6) Термогравиметрия является полезным методом для оценки термостабильности полимера.

7) Реология используется для характеристики течения и деформационного поведения. Его можно использовать для определения вязкости, модуля и других реологических свойств. Реология также часто используется для определения молекулярной архитектуры (молекулярная масса, распределение молекулярной массы, разветвление) и для понимания того, как можно обрабатывать полимер.

Таблиц 3. Характеристики основного сырья.

Наименование сырья, материалов, полупродуктов	ГОСТ,СТП,ТУ, регламент или методика на подготовку сырья	Показатели по стандарту, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели
Деминерализованная вода	Технологический регламент установки химводоподготовки (цех №40)	<p>Давление</p> <p>Температура</p> <p>Значение pH</p> <p>Удельная электропроводность</p> <p>Содержание железа</p> <p>Содержание меди</p> <p>Солесодержание(общее)</p> <p>Кислорода (после барботирования азотом)</p> <p>Содержание двуокиси углерода</p> <p>Растворенная кремневая кислота</p>	<p>Не менее 6,0 бар(изб.)</p> <p>Не более +30⁰С</p> <p>6,0-7,5</p> <p>0,9 мг/л</p> <p>Не более 5·10⁻⁵ %</p> <p>Не более 5·10⁻⁵ %</p> <p>Не более 5·10⁻⁵ %</p> <p>Не более 4,0 мг\л</p> <p>Не более 3·10⁻⁴ %</p> <p>Не более 7,0 мг\л</p>
		Содержание взвешенных веществ	Не более 1,0 мг\дм ³
Охлаждающая	Настоящий	Давление	На входе: 0,6 ±

вода	регламент	<p>Температура</p> <p>Значение рН</p> <p>Потребление перманганата калия</p> <p>Содержание твердых веществ</p> <p>Остаток при упаривании</p> <p>Содержание хлоридов</p>	<p>10%МПа(изб.)</p> <p>Не более 28⁰С летом. Не более 18⁰С зимой</p> <p>6,0-8,5</p> <p>10-16 мг\л</p> <p>Не более 30 мг\л</p> <p>Не более 500 мг\л</p> <p>2·10⁻³ %</p>
Вода заложенная (из общезаводской сети)	Техно-логический регламент цеха №25	<p>Давление</p> <p>Температура</p> <p>Потребление перманганата калия</p> <p>Остаток при упаривании</p>	<p>Не менее 0,6±10% МПа(изб.)</p> <p>Не более 70⁰С на входе</p> <p>Не более 130⁰С на выходе</p> <p>Не более 10 мг\л</p> <p>Не более 500 мг\л</p>
Воздух питания контрольно – измерительных приборов	Настоящий регламент	Содержание примесей масла, паров органических растворителей и других загрязнений	Отсутствие

		<p>Давление</p> <p>Температура</p> <p>Точка росы</p>	<p>Не менее 6,0±5% бар(изб.)</p> <p>15-30 °С</p> <p>Не выше -43°С (при нормальном давлении)</p>
<p>Пар (из общезаводской сети)</p>	<p>Технологический регламент цеха №40</p>	<p>Давление пара</p> <p>Температура</p>	<p>Не менее 0,4 МПа(изб.)148-152°С (возможен перегрев на 10°С)</p>
<p>Азот</p>	<p>Технологический регламент цеха получения продуктов разделения воздуха (цех №10)</p>	<p>Давление</p> <p>Температура</p> <p>Концентрация азота</p>	<p>Не менее 0,4±5% МПа(изб.)</p> <p>Окружающего воздуха</p> <p>Не менее 99,9%</p>
<p>Органический теплоноситель-динил</p>	<p>Согласно сертификату качества продавца</p>	<p>Содержание дифенилоксида</p> <p>Содержание дифенила</p>	<p>Не менее 73,5% масс.</p> <p>Не более 26,5% масс.</p>
<p>Водород</p>	<p>Технологический регламент установки КЦА (цех №13)</p>	<p>Концентрация водорода</p> <p>Давление (после редуцирования)</p> <p>Температура</p>	<p>Не менее 99,4% об.</p> <p>0,1-1,15 МПа(изб.)</p> <p>Окружающего воздуха</p>

		Точка росы	20 ⁰ С (при нормальном давлении)
Уксусная кислота	ГОСТ 61-75	Концентрация	Не менее 99,8%
		Содержание муравьиной кислоты	Не более 0,1% масс.
		Содержание хлорида в виде хлора	Не более 0,0001% масс.
		Содержание сульфата в виде SO ₄ ⁻²	Не более 0,0001% масс.
		Содержание железа	Не более 0,00002% масс.
		Содержание тяжелых металлов в виде свинца	Не более 0,00003% масс.
		Содержание мышьяка в виде As	Не более 0,000015% масс.
		Плотность при 20 ⁰ С	От 1050 до 1053 кг\дм ³
Капролактамы	Технологические регламенты цехов капролактама №24,37	Температура кристаллизации Содержание влаги Содержание летучих	Не менее 68,8 ⁰ С Не более 0,04 % масс. Не более 0,1

		оснований	ммоль\кг
		Кислотность	Не более 0,1
		Массовая доля циклогексано-ноксима	ммоль\кг Не более 0,002% масс.
		Зольность	
		Значение рН 20% водного раствора капролактама	Не более 10мг\кг 6,7-7,3

2.2 Описание технологической схемы

Капролактама, предварительно очищенный от примесей, подается в мультифункциональный реактор-смеситель АТ3201, в верхнюю его часть. В рубашку аппарата подается жидкий терминол, температура которого составляет 220⁰С. Перемешивающее устройство, находящееся внутри аппарата, представляет собой вал, на котором закреплены 4 лопасти, расположенные относительно друг друга под углом 90. Редуктор с электродвигателем приводит Мешалку АМ3201 в движение, закрепленный на поверхности крышки аппарата, электродвигатель перемешивающего устройства имеет частотный регулятор привода (ЧРП). Обратная вода подается для охлаждения подшипника редуктора. Аппарат оборудован змеевиком, внутрь которого подается паровой динил с температурой 265-275⁰С [5]. В верхней части реактор снабжен смотровыми стеклами, для тщательного контроля процесса, для измерения давления служит прибор РІА3201, который дает сигнал по максимальному значению параметра, приборы контроля LІCSA3201, так же имеют сигнализацию, но уже и по максимальному и по минимальному значениям параметра, и защиту по максимальному значению. Клапан LCSV3201

начинает перекрываться на подаче лактама в реактор АТ3201 при срабатывании блокировки по максимальному значению уровня. Чтобы исключить контактирование кислорода с воздухом и избежать нароста слоя полимера на рабочей поверхности уровнемеров, подается азот в смеситель АТ3201, реакторы АР3201, АР3202 с количеством кислорода не более 3ppm. Капролактама, раствор олигомеров со стадии выпаривания лактамной воды и стабилизатор при температуре 220°C и под повышенном давлении 2 кгс/см² перемешиваются, в следствии чего происходит образование молекулярной цепи полимера. Мешалкой АМ3201 вся эта реакционная смесь перемешивается в аппарате. Расходуемый капролактама в реакторе-смеситель АТ3201 при помощи регулирующего клапана LCSV3201 регулируется автоматически, клапан установлен на линии подачи капролактама в реактор. Исходя из уровня смеси в аппарате происходит регулировка, при помощи прибора FICA3204 фиксируется расход капролактама, установленного на линии подачи капролактама в реактор. При подачи первичных компонентов на стадию полимеризации соотношение регулируется автоматически, зависимость наблюдается от расходуемого капролактама. Стадия выпаривания лактамной воды несет за собой затраты концентрированной лактамной воды которые регулируется клапаном LCSV9503 и фиксируется при помощи расходомера FICA3205. Затраты 50% раствора уксусной кислоты в реактор-смеситель АТ3201 фиксируется при помощи расходомера FICA3206. Затраты стабилизатора автоматически регулируются количественным вращением насосом электродвигателя дозатора АР3102А/В. Через дефлегматор АС3201 осуществляется дегазация реактора-смесителя АТ3201. Воды в виде пара содержащая примесь лактама, его производных, уксусную кислоты направляется в нижнюю часть дефлегматора АС3201. Дефлегматор имеющий цилиндрическую форму и установленный вертикально используется для разделения примесей лактама отводной фракции и возвращения продукта в процесс. Распределяющее устройство с отверстиями 2 мм находящее в верхней части дефлегматора пропускает лучи, обеспечивая этим наивысшую

поверхность контанта средпропускает дименирализованную воду. Дименирализованная воды находится в мелкодисперсном состоянии и тем самым подхватывает содержащиеся примеси лактама и уксусной кислоты. Контролирующий прибор давления PISA3202 имеющий сигнал по максимальному и минимальному значению параметра находится на линии сброса газовой фазы на дефлегматоре AC3201. Регулирование давления процесса происходит автоматически клапаном PCV3202 в зависимости от показаний прибора PISA3202. На линии сброса газовой фазы рядом с дефлегматором AC3201 располагается теплообменник AN3201, который выполняет функцию конденсации паров воды. Конденсатор AN3201 представляет собой двухходовой кожухотрубчатый теплообменник с поверхностью теплообмена 10,5 м² по межтрубному пространству которого подаются пары воды, а по трубному охлаждающая оборотная вода с температурой не более 28⁰С. От охладителя AN3201 сконденсированные пары воды направляются в гидрозатвор AT3202 из которого в дальнейшем по линии перелива конденсат паров идет к сборнику лактамной воды AT9505, на установку выпаривания лактамных вод. Линия перелива гидрозатвора AT3202 оснащена дренажным вентилем, открыв который, перелив начнет направляться в сточный коллектор. Трубопровод обогреваемый жидким термиолом, проводит реакционную смесь которая из мультифункционального реактора AT3201 поступает в верхнюю часть предполимеризатора AR3201. Реактор предполимеризации AR3201 представляет собой аппарат цилиндрической формы и располагающийся вертикально, имеющий сферическую крышку и конусное дно, внутри которого в верхней части находится специальный нагреваемый паровым динилом регистр с нагревательными элементами по форме напоминающими галстуки. Также аппарат внутри оснащен специальными тарелками в виде конуса количество которых насчитывается 14 штук, тарелки располагаются по всей его длине от нагревательного регистра в верхней части, до конуса в нижней части. Тарелки располагаются острием (конусом) вверх и по всей площади перфорированы отверстиями. Имея

такую особенную конструкцию поток реакционной смеси проникает через реактор в так называемом «пробковом режиме», обеспечивающем наилучшее перемешивание и равномерное движение расплава в реакторе. Снаружи аппарат оснащен змеевиком обогрева, имеющий форму полутрубы. Так же реактор оснащен смотровым фонарем, который находится на крышке, для наблюдения визуального контроля процесса. Контроль уровня расплава в предполимеризаторе AR3201 ведется посредством уровнемеров LSA3205 и LICSA3202. Уровнемер LSA3205 блокируется по максимальному значению параметра при срабатывании которой закрывается клапан LCSV3202, на подачу расплава в предполимеризатор. Уровнемер LICSA3202 имеет сигнализацию по минимальному и максимальному значениям параметра, а также блокировку по максимальному значению при срабатывании которой закрывается клапан LCSV3201, установленный на линии подачи лактама в реактор-смеситель AT3201. По всей длине предполимеризатора установлены датчики температуры которые контролируют температуру. Прибор PIA3204 контролирует давления в аппарате, в свою очередь он имеет сигнализацию по максимальному значению параметра. Благодаря нахождению воды (активатора реакции), осуществляется реакция гидролиза и образование аминокaproновой кислоты. Необходимый фактор который влияет на качество товарного полимера в этой стадии процесса, является степень смешения исходных компонентов реакции. Чем выше показатели степени смешения, тем объемнее и качественней протекает реакция с запланированной степенью линейности полимера. Еще одним важным фактором является время пребывания расплава в зоне реакции, он должен равномерно проходить через аппарат. Для самого лучшего результата, то есть получения однородного полимера, время нахождения в зоне реакции должно быть одинаковым для каждой отдельно взятой его молекулы. Терминол 66 в виде жидкости обогревает по наружному змеевику предполимеризатор AR3201. В верхней части реакции температура достигает и поддерживается 230-255⁰С в автоматическом режиме благодаря регулированию температуры в контурах обогрева. Пары динила от

испарителя АН3802 с температурой 285⁰С попадают во внутренний нагревательный регистр предполимеризатора. С боку дефлегматора АС3201 смонтирован в боковой отвод трубопровод дегазации АR3201. Исходя из этого всего, аппарат имеет общую систему дегазации с разнофункциональным реактором- смесителем АТ3201. Излишек давления в аппаратах АТ3201 и АR3201 поддерживается при помощи автоматического регулирующего клапана РСV3202, в зависимости от показаний прибора РІСА3202 изданного значения регулировки. Для исключения контакта с кислородом воздуха, над уровнем реакционной смеси в предполимеризаторе постоянным расходом 0,5 м³/час подается очищенный азот с содержанием кислорода не более 3 ppm. По обогреваемому жидким терминолом трубопроводу расплава полиамида подается в верхнюю часть поликонденсатора АR3202. Выдача происходит за счет избыточного давления 2 кгс/см² в предполимеризаторе АR3201. Отбор пробы продукта осуществляется в нижней части трубопровода который оснащен трехходовым вентилем, через который так же имеется возможность опорожнения трубопровода и аппарата АR3201 от продукта. Поликонденсатор АR3202 выглядит как аппарат расположенный вертикально, имеющий цилиндрическую форму, крышку в виде сферы и днище в виде конуса. В верхней части аппарата встроен нагреваемый динилом регистр, конструкция которого похожа на встроенному в АR3201. В средней части, внутри аппарата располагается теплообменник по трубному пространству которого протекает реакционная смесь (расплав), а по межтрубному подается жидкий терминол. За счет подачи терминала в межтрубное пространство из этой зоны аппарата производится отвод тепла, выделяющегося при экзотермической реакции поликонденсации. Терминол из межтрубного пространства этого теплообменника используется для обогрева мультифункционального реактора-смесителя АТ3201. Так же реактор АR3202 по всей длине оборудован тарелками в виде конуса в количестве 17 штук с отверстиями, для равномерного истечения расплава. В верхней части аппарата имеется мешалка с электроприводом. Лопасты мешалки имеют

наконечники, которые представляют собой мягкие металлические пластины. Распределяющее устройство подает расплав полиамида в верхнюю часть полимеризатора AR3202. Лопасты перемешивают поток который поступает через трубопровод расположенный по всей окружности аппарата. Уровень контролируется и регистрируется при помощи при помощи приборов LICSA3203 и LISA3206, которые имеют сигнализацию по минимальному и максимальному уровню, а также защиту по максимальному уровню расплава при срабатывании которой автоматически закрывается клапан LCSV3203, располагающийся на линии подачи расплава в реактор. Пройдя поликонденсатор расплав с относительной вязкостью $2,5 \pm 0,1$ делится на несколько потоков и по трубопроводам, обогреваемым жидким термиолом, поступает на всас шестеренчатых насосов, на стадию гранулирования. Выходящий из верхней части пар полимеризатора AR3202 поступает в дефлегматор AC3202, где происходит разделение высококипящих компонентов и охлаждение паров. Остаток пара конденсируется в конденсаторе AN3202. Из нижней части конденсатора, конденсат сливается в бачок AT3203. Несколькими вакуумными насосами создается вакуум. Вакуумные насосы присоединены к бачку, а между ними находится клапан «нормально закрытый», подсоединенный к прибору PIA3205 находящиеся в верхней части реактора, клапан дает возможность регулировать вакуум в полимеризаторе. Конденсат подается в сборную емкость AT3202 оборудованной змеевиком с охлаждающей водой. Через доступный перелив охлажденный конденсат направляется в емкость сбора лактам воды [5]. Из полимера под действием вакуума удаляются пары воды. Удаляя оставшуюся воды даст толчок течению процесса поликонденсации. Благодаря этому увеличивается степень полимеризации, растет молекулярная масса и вязкость полиамида 6. Относительная вязкость полимера на выходе из аппарата может выдерживаться в пределах 2,4-3,4 [3].

2.3 Производственный контроль

2.3.1 Аналитический контроль

Таблица 4.

Наименование стадии процесса, место отбора пробы	Контролируемый параметр	Частота контроля	Нормы и технические показатели	Методика контроля испытания	Кто контролирует
Склад лактама и хранение раствора стабилизатора, капролактама на входе в сборнике хранения.	Температура кристаллизации	По требованию	Не менее 68,8 ⁰ С	Визуальный(ГОСТ 26743.2-91)	Лаборант ОТК
	Перманганатный индекс	По требованию	Не более 0,4 ммоль\кг	Спектрофотометрически(ГОСТ 26743.7-91)	Лаборант ОТК
	Содержание летучих оснований рН 20%-го раствора	По требованию	6,7-7,3	Объемный(ГОСТ 26743.8-91)	Лаборант ОТК
Концентрация уксусной кислоты перед подачей в АТ3201	Массовая доля в водном растворе	По требованию	49-51%	Титриметрический	Лаборант ОТК

Расплав полимера после AR3201	Относительная вязкость	По требованию	Факультативно	Вискозиметрический	Лаборант ОТК
Вода из гидрозатвора AT3202	Массовая доля низкомолекулярных соединений	По требованию	Факультативно	Рефрактометрический	Лаборант ОТК
Лактамная воды перед подачей в AT3201	Массовая доля капролактама	6 раз в смену	80-85%	Автоматический рефрактометр	Оператор ЦПУ

2.3.2 Нормы технологического режима

Наименование потоков, реагентов	Наименование технолог.показателей			
	Температура (°C)	Давление (бар)	Уровень	Скорость подачи
Расплав полиамида в реактор АТ3201	200-240	Не более 3,0	25-75%	Лактам- 3100-7600 кг\час; Регенер.лактам- 1200-2700 кг\час; Уксус.кислота- 6,9-26,8 кг\ч.
Дефлегматор АС3201	100-180	Не более 3,0		Подача воды – 100-250 л\ч
Расплав полиамида в предполимеризаторе АР3201		Не более 3,0	25-75%	
-верхняя зона	230-260			
-нижняя зона	240-260			
Расплав полиамида в АР3202		Не более 2,0	25-75%	
-верхняя зона	250-270			
-средняя зона	250-275			
-нижняя зона	235-265			
Дефлегматор АС3202	100-180	Не более 2,0		Подача воды – 100-250 л\ч

Таблица 5.

2.4 Техничко-технологические расчеты

2.4.1 Материальный баланс

Исходные данные:

Производительность- 57500 тонн в год;

Степень превращения полиамида равна 96,96%

Содержание олигомер в полиамид 6 - 3,04

Деминерализованная вода - 1,4%

Производительность дана 57500 тонн в год переводим в кг\ч, получаем 6845,52 кг\ч

Найдем массу подаваемых компонентов.

Расплав полимера 98,6% масс., составим пропорцию:

$$6845,52-100\%$$

$$X-98,6\%$$

$$X=6749,6 \text{ кг/ч}$$

Деминерализованная вода 1,4% масс., составим пропорцию:

$$6845,52-100\%$$

$$X-1,4\%$$

$$X=95,9 \text{ кг/ч}$$

Если степень превращения равна 96,96% и производительность полиамида 6 равна 6845,52 кг\ч, то найдем массу подаваемого компонента:

$$6845,52-100\%$$

$$X-96,96\%$$

$$X=6637,4 \text{ кг/ч}$$

Найдем массу выхода олигомер:

$$6845,52-100\%$$

$$X-3,04\%$$

$$X=208,1 \text{ кг/ч}$$

Таблица 6.

Статьи прихода	кг/ч	Масс.,%	Статьи расхода	кг/ч	Масс.,%
1.Расплав полимера	6749,6	98,6	1.Полиамид	6637,4	96,96
2.Деминерализованная вода	95,9	1,4	2.Олигомеры	208,1	3,04
Сумма	6845,5	100	Сумма	6845,5	100

2.4.2 Энергетический баланс

Для расплава полимера, если $T=280^{\circ}\text{C}$, то $C=1,8855$ кДж/кг·град

Для деминерализованной воды, если $T=10^{\circ}\text{C}$, то $C=5,2584$ кДж/кг·град

Для олигомеров, если $T=255^{\circ}\text{C}$, то $C=1,2775$ кДж/кг·град

Для полиамида-6, если $T=255^{\circ}\text{C}$, то $C=4,4838$ кДж/кг·град

Теплота реакции = 4265 кДж/кг·град

$$Q_1 = c \cdot t \cdot m = 280 \cdot 1,8855 \text{ кДж/кг·град} \cdot 6749,6 \cdot 10^3 = 3563 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = c \cdot t \cdot m = 10 \cdot 5,2584 \text{ кДж/кг·град} \cdot 95,6 \cdot 10^3 = 5,02 \text{ кДж}$$

$$Q_3 = 4265 \text{ кДж}$$

$$Q_4 = c \cdot t \cdot m = 252 \cdot 4,4836 \text{ кДж/кг·град} \cdot 6845,5 \cdot 10^3 = 7734 \text{ кДж}$$

$$Q_5 = c \cdot t \cdot m = 255 \cdot 1,2775 \text{ кДж/кг·град} \cdot 208,1 \cdot 10^3 = 67,7 \text{ кДж}$$

Q_6 берем как 0,4% от общей суммы теплоты статей прихода:

$$Q_6 = 7833,02 \cdot 0,4\% / 100\% = 31,32 \text{ кДж}$$

Таблица 7. Тепловой баланс в кДж.

№	Наименование	Приход	Наименование	Расход
		кДж		кДж
1	Реагентов	3568,02	Продуктов	7801,7
2	Реакции	4265	Потерь	31,32
3	Сумма	7833,02	Сумма	7833,02

Таблица 8. Тепловой баланс в кВт

№	Наименование	Приход	Наименование	Расход
		кДж		кДж
1	Qреагентов	3568,02	Qпродуктов	7801,7
2	Qреакции	4265	Qпотерь	31,33
3	Сумма	7833,02	Сумма	7833,02

2.4.3 Технологический расчет оборудования

2.4.3.1 Расчет основного аппарата

Реактор полимеризации предназначен для работы в частичном вакууме с внутренним теплообменником и наружным обогревом рубашки.

Полимеризатор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат объемом $67,65 \text{ м}^3$ с сферической крышкой и коническим днищем. Аппарат оборудован рубашкой обогрева и внутренним теплообменником объемом $2,92 \text{ м}^3$. Внутри аппарата в средней его части встроены теплообменники по трубному пространству, которого протекает реакционная смесь (расплав), а по межтрубному подается жидкий терминол. За счет подачи терминола в межтрубное пространство из этой зоны аппарата производится отвод тепла, выделяющегося при экзотермической реакции поликонденсации. Так же реактор AR3202 по всей длине оборудован специальными конусными тарелками в количестве 17 штук с отверстиями, для равномерного истечения расплава. В верхней части аппарата смонтирована мешалка с электроприводом. Четыре лопасти мешалки выполнены с наконечниками в виде мягких металлических пластин. Через распределительное устройство расплав полиамида подается в верхнюю часть поликонденсатора AR3202 [5], Габариты: $H=22054 \text{ мм}$, $D_{\text{внутр}}=2000 \text{ мм}$.

В аппарате: объемом $67,65 \text{ м}^3$.

Толщина стенки сварной цилиндрической обечайки вертикального полимеризатора, работающего под внутренним давлением:

-материал обечайки- сталь марки 12X18H10T [11];

-проницаемость материала обечайки в растворе полиамид в капролактаме:
[13]

$P=0,06 \text{ мм/год}$

-обечайка без отверстий;

-продольный сварной шов ручной стыковой двусторонний ($\varphi=0,95\text{см.}$), поправочный коэффициент $\eta=1$ [13].

Расчетное давление в нижней части обечайки с учетом гидростатического давления столба жидкости определяем по формуле:

$$P=P_c+g\cdot\rho_{\text{ж}}\cdot H_{\text{ж}}\cdot 10^{-6} \quad (2)$$

где P_c - рабочее избыточное давление в Мн/м^2 (кгс/см^2);

g - ускорение силы тяжести в м/сек^2 (см/сек^2);

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости в кг/м^3 ;

$H_{\text{ж}}$ - высота столба жидкости в м (см) [13]:

$$P=P_c+g\cdot\rho_{\text{ж}}\cdot H_{\text{ж}}\cdot 10^{-6}=1,0+9,9\cdot 1,148\cdot 10^3\cdot 8,1\cdot 10^{-6}=1,058\text{Мн/м}^2(10,58\text{кгс/см}^2)$$

Номинальное допустимое напряжение для стали марки 12Х18Н10Т находим по графику (номинальные допустимые напряжения δ для наиболее распространенных в химической аппаратуростроении марок стали: 12Х18Н10Т, 4-09Г2С и 16ГС):

$$\delta=140\text{Мн/м}^2(1400\text{кгс/см}^2)$$

Допускаемое напряжение определяем по формуле: [4]

$$\delta_{\text{д}}=\eta\cdot\delta(2.1)$$

где η -коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата;

δ -номинальное допускаемое напряжение в Мн/м^2 (кгс/см^2);

$$\delta_{\text{д}}=\eta\cdot\delta=1\cdot 140=140\text{Мн/м}^2(1400\text{кгс/см}^2).$$

Определяем отношение определяющих параметров $\delta_{\text{д}}$ и P с учетом коэффициента $\varphi_{\text{ш}}$ [4]:

$$\delta_{\text{д}}/P\cdot\varphi=140/1,058\cdot 0,95=126>25$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки определяем по формуле:

$$[4] S^1 = D_B P / 2 \delta_d \varphi \quad (2.2)$$

где P - расчетное давление в аппарате в $\text{Мн}/\text{м}^2$ ($\text{кгс}/\text{см}^2$);

δ_d -допускаемое напряжение на растяжение для материала обечайки в $\text{Мн}/\text{м}^2$;

D_B -диаметр внутренний, м;

φ - продольный сварной шов (0,95 см) [10],

$$S^1 = 2 \cdot 1,058 / 2 \cdot 140 \cdot 0,95 = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,95 \text{ мм}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 1,05 \text{ мм}$ [10].

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки при $C_d = 0$ определяем по формуле:

$$C = C_k + C_э + C_d + C_0 \quad (2.3)$$

где C_k - прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

$C_э$ -прибавка на эрозию или другой вид механического воздействия рабочей среды на материал, мм;

C_d - дополнительная прибавка по технологическим, монтажным и другим соображениям, мм;

C_0 -прибавка на округление размера, мм;

$$C = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле:

$$S = S^1 + C \quad (2.4)$$

где S^1 - номинальную расчетную толщину стенки обечайки, мм;

C - суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки, мм;

$$S=7,95+2,05=10\text{мм.}$$

Проверим условие $S-C_k/D_B < 0,1S-C_k/D_B = (10-1)/2000=0,005 < 0,1$, т.е. условие выполнено.

Допускаемое давление в обечайки определяем по формуле:

$$P_d = \delta_d \varphi (s - C_k) / D_B + (3 - C_k) \quad (2.5)$$

δ_d - допустимое давление, МН/м²;

φ - продольный сварной шов, см;

C_k - прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

D_B - диаметр внутренний, м;

$$P_d = 2 \cdot 140 \cdot 0,95 \cdot (0,01 - 0,001) / 1,8 + (0,01 - 0,001) = 1,19 \text{ МН/м}^2 \quad (11,9 \text{ кгс/см}^2)$$

Вывод: рассчитанная обечайка соответствует заданному аппарату.

Определим толщину стенки нижнего стандартного конического отбортованного днища для сварной обечайки вертикального аппарата-полимеризатора [11]:

Материал днища сталь 12X18H10T $C_k=1\text{мм.}$

$$\delta_d = \delta_{ид} = 140 \text{ МН/м}^2 \quad (1400 \text{ кгс/см}^2) \quad P = 1,06 \text{ МН/м}^2 \quad (10,6 \text{ кгс/см}^2)$$

$$D_B = 2 \text{ м}, \quad R_B / D_B = 0,15$$

Определим отношение определяющих параметров δ_d и P с учетом коэффициента:

$$\varphi_{ш} \delta_d / p \cdot \varphi_{ш} = 140 / 1,06 \cdot 0,95 = 125,2 > 50 > 3$$

Коэффициент формы днища при $\lambda=30^0$ и $R_B/D_B=0,15$ определим по графику (график для определения фактора формы днища).

Номинальную расчетную толщину стенки днища сначала определяем по формуле:

$$S^1 = D_v \cdot p_r / 4 \delta_d \varphi \quad (2.6)$$

$$S^1 = 2 \cdot 1,06 \cdot 1,4 / 4 \cdot 140 \cdot 0,95 = 5,59 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,59 \text{ мм}$$

Определим расчетный диаметр D по формуле: [11]

$$D = D_p / 2 \cos \lambda (\varphi - P) \quad (2.7)$$

где P - расчетное давление в аппарате, Мн/м^2 ;

δ_d - допускаемое напряжение на растяжение для материала днища, Мн/м^2 ;

D_v - расчетный диаметр, м.

$$D = D_v - 2 [R_v (1 - \cos \lambda) + 10 s^1 \sin \lambda] = 2 - 2 [0,3 (1 - \cos 30^\circ) + 10 \cdot 5,59 \cdot 10^{-3} \sin 30^\circ] = 1,864 \text{ м}$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища теперь определим по формуле:

$$S^1 = D_p / 2 \cos \lambda \delta_d \cdot \varphi \quad (2.8)$$

Принимая в ней $\varphi = 1$, сварной шов удален от тороидального перехода на величину, большую $0,5 \sqrt{D_s} / \cos \lambda$.

$$S^1 = D_p / 2 \cos \lambda \delta_d \cdot \varphi = 1,864 \cdot 1,06 / 2 \cos 30^\circ \cdot 140 \cdot 1 = 8,15 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 8,15 \text{ мм}.$$

За расчетное значение s^1 принимаем большее значение по формуле (2.9)

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 0,85 \text{ мм}$ [4].

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (2.9.1)

$$C = 1 + 0 + 0,85 = 1,85 \text{ мм}.$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле:

$$S=S^1+C \quad (2.9.2)$$

где S^1 - номинальная расчетная толщина стенки днища;

C - суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки, мм

$$S=8,15+1,85=10\text{мм.}$$

Допускаемое давление в днище согласно формуле 2.9.3, 2.9.4

$$P_d=4\delta_d \cdot \varphi(S-C_k)/D_{вy} \quad (2.9.3)$$

где δ_d допускаемое напряжение на растяжение для материала днища, Мн/м^2 ;

S - толщину стенки обечайки с учетом прибавок, мм;

C_k - прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

$D_{в}$ - диаметр внутренний, м.

$$P_d=4 \cdot 140 \cdot 0,95 \cdot (10-1) \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 1,4=1,7\text{Мн/м}^2 \quad (17\text{кгс/см}^2)$$

Вывод: рассчитанное днище соответствует заданному аппарату.

Расчет опоры для полимеризатора:

Установка химических аппаратов на фундаменты или на специальные несущие конструкции осуществляется большей частью посредством опор. При подвеске аппарата на несущей конструкции, между перекрытиями (полимеризатор так и установлен) прием опоры типов VI-IX (основные опоры применяемые в химических аппаратах). При конструировании опор VI-IX, одним из основных элементов которых является ребро, рекомендуется отношение вылета к высоте ребра l/h принимать равным 0,5 [11],

Расчетная толщина ребра s^1 определяется по формуле:

$$s^1=2,24G/kZ\delta_d \quad (2.9.4)$$

где G - нагрузка на опору, н;

k - коэффициент, зависящий от соотношения l/s ;

Z -число ребер в опоре;

l - вылет опоры, м.

Значение коэффициента k рекомендуется предварительно принять $k=0,6$.

Если значение s' будет менее $1/13$, то расчетная величина s' является окончательной [11],[4].

Рассчитаем основные размеры подвесной лапы для вертикального цилиндрического аппарата полимеризатора, опирающегося на четыре лапы.

$G = 10 \cdot 10^4$ н., материал лапы- сталь 12Х18Н10Т ($\delta_d=146 \cdot 10^6$ н/м²).

Число ребер в лапе $Z=2$, вылет опоры $l=0,25$ м, толщина стенки обечайки аппарата $s_1=24$ мм.

Принимаем отношение вылета лапы к высоте ребра ее $l/h = 0,5$ [3].

Тогда $h=1/0,5=0,25/0,5= 0,5$ м.

Расчетную толщину ребра лапы при $k=0,6$ определяем по формуле 2.12

$$S' = 2,24 \cdot 22054 / 0,6 \cdot 2 \cdot 146 \cdot 10^6 \cdot 0,25 = 0,0051 \text{ м.}$$

Отношение $1/13=0,25/13= 0,0192 > s'=0,0051$ м., поэтому уменьшаем значение k до $k=0,25$, при котором по графику (график определения коэффициента k) $3 \cdot 1/s=22,5$.

Пересчитываем:

$$s' = 0,0051 \cdot 0,6 / 0,25 = 0,0123 \text{ м} > 0,25 / 22,5 = 0,011 \text{ м.}$$

Принимаем $s' = 14$ мм.

Выбираем длину опорной плиты лапы $l_1 = 0,23$ м., толщину $s = 14$ мм.

Расчетная ширина опорной плиты лапы:

$$b = G/1_1g=10 \cdot 10^4/0,23 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,218 \text{ м}$$

принимаем $b=0,22 \text{ м}$.

Согласно (стальные подкладки для подвесных лап) при допускаемой нагрузке на лапу $G=8 \cdot 10^4 \text{ н}$. и толщине стенки аппарата $s_1= 24 \text{ мм}$. Подкладка не требуется. Учитывая наличие большой нагрузки $G=10 \cdot 10^4 \text{ н}$. и руководствуясь данными (стальные подкладки для подвесных лап), принимаем в лапе подкладку с размерами $s_n=10 \text{ мм}$, $H=700 \text{ мм}$, $B=500 \text{ мм}$ [17]. Ребра привариваются к подкладке круговым швом по замкнутому контуру с катетом $K=8 \text{ мм}$. Общая длина шва рассчитываем по формуле

$$L_{\text{ш}}=4(h+s)=41 \cdot (0,5+0,014) = 2,056 \text{ м}.$$

Прочность сварного шва при $\tau_{\text{сд}}=80 \cdot 10^6 \text{ н/м}$ проверяем по формуле:

$$G \leq 0,7 L_{\text{ш}} K \tau_{\text{сд}} \quad (2.9.5)$$

где K -катет сварного шва, м;

$L_{\text{ш}}$ - общая длина сварных швов, м.

$$G=10 \cdot 10^4 < 0,7 L_{\text{ш}} K \tau_{\text{сд}} = 0,7 \cdot 2,056 \cdot 0,008 \cdot 80 \cdot 10^6 = 92 \cdot 10^4 \text{ н}.$$

То есть более чем обеспечена, из этого следует, что рассчитанные опоры соответствуют заданному аппарату [18]. Расчет штуцеров для полимеризатора: [11]

Выбор диаметра штуцеров:

$$d = \sqrt{4G/\pi \cdot p w} \quad (2.9.6)$$

где $d = 0,0188 \sqrt{G/p \cdot w}$;

где u - скорость потока, м/с;

p -плотность потока, кг/м³;

G- расход потока, кг/ч.

Штуцер для ввода капролактама и регенерированного капролактама: [4]

$$d=0,0188\sqrt{G_1/p \cdot w} \quad (2.9.7)$$

где G- расход капролактама и регенерированного капролактама;

p-плотность капролактама.

Определяем скорость потока:

$$7251,3/3600=0,82 \text{ м/с} \quad d=0,0188 \cdot \sqrt{3323/1,025 \cdot 0,82} = 0,689 \text{ м.}$$

Принимаем $d=80$ мм.

Штуцер для вывода расплава полиамида:

$$d_2=0,0188\sqrt{G_2/p_{\text{п}} w} \quad (2.9.8)$$

где G_2 расход расплава полиамида;

$p_{\text{п}}$ — плотность расплава полиамида.

$$d_2=0,0188\sqrt{671,2/1,1 \cdot 1,2} = 0,110 \text{ м}$$

Штуцер для вывода расплава полиамида принимаем $d_2 = 125$ мм.

Вывод: согласно расчетам, принимаем диаметр штуцеров большего диаметра, чем расчетные, это обеспечит ввод сырья и вывод продукта из реактора с запасом.

2.4.3.2 Расчёт вспомогательного оборудования

В качестве вспомогательного оборудования используется двухходовой кожухотрубчатый теплообменник АН3202 с поверхностью теплообмена $6,54\text{ м}^2$, по межтрубному пространству, которого подаются пары воды, а по трубному охлаждающая оборотная вода с температурой не более 28°С . Охлаждение газовой фазы происходит с температуры 100°С до температуры 40°С . [6] Внутри теплообменника находится 23 трубы диаметра 20 см, длина теплообменника составляет 2122 см, внутренний диаметр его составляет 325 см. Коэффициент теплопередачи $0,122\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Схема потоков противоточная:

$$T_{\text{ср}} = (100 - 40) / 2 = 31^\circ\text{С}$$

Находим поверхность теплообмена подогревателя:

$$F = 564,60 / (0,122 \cdot 152) = 6,54\text{ м}^2$$

Принимая длину трубы 2122 мм и диаметр 0,20 м, вычисляем поверхность одной трубы (гладкой):

$$F_1 = \pi \cdot D \cdot L = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 2,122 = 5,3\text{ м}^2$$

$$\text{Число труб } N = 26,54 / 5,3 = 23 \text{ шт.}$$

В качестве второго вспомогательного оборудования принят реактор-предполимеризатор АР3201.

Предварительный полимеризатор, аппарат АР3201:

Габариты:

$$D_y = 1800 \text{ мм. } P_{\text{раб}} = 2,5 - 3,0 \text{ бар.}$$

$$H = 13792 \text{ мм. } T_{\text{раб}} = 250 - 270^\circ\text{С}$$

$$V = 29 \text{ м}^3.$$

Толщина стенки сварной цилиндрической обечайки вертикального полимеризатора, работающего под внутренним давлением:

-материал обечайки- сталь марки 12Х18Н10Т [11]

-проницаемость материала обечайки в растворе полиамид вкапролактаме:
[10] $P=0,06$ мм/год

-обечайка без отверстий

-продольный сварной шов ручной стыковой двусторонний ($\phi=0,95$ см.),
поправочный коэффициент $\eta=1$ [11].

Расчетное давление в нижней части обечайки с учетом гидростатического давления столба жидкости определяем по формуле:

$$P=P_c+g\cdot\rho_{ж}\cdot H_{ж}\cdot 10^{-6}(3)$$

где P_c - рабочее избыточное давление в Мн/м^2 (кгс/см^2);

g - ускорение силы тяжести в м/сек^2 (см/сек^2);

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости в кг/м^3 .

$H_{ж}$ - высота столба жидкости в м (см) [3]:

$$P=P_c+g\cdot\rho_{ж}\cdot H_{ж}\cdot 10^{-6}=1,0+9,9\cdot 1,148\cdot 10^3\cdot 8,1\cdot 10^{-6}=1,058\text{Мн/м}^2 (10,58\text{кгс/см}^2)$$

Номинальное допустимое напряжение для стали марки 12Х18Н10Т находим по графику (номинальные допустимые напряжения δ для наиболее распространенных в химической аппаратостроении марок стали: 12Х18Н10Т, 4-09Г2С и 16ГС):

$$\delta=140\text{Мн/м}^2 (1400\text{кгс/см}^2)$$

Допускаемое напряжение определяем по формуле: [11]

$$\delta_d=\eta\cdot\delta (3.1)$$

где η -коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата;

δ -номинальное допускаемое напряжение в Мн/м^2 (кгс/см^2).

$$\delta_d = \eta \cdot \delta = 1 \cdot 140 = 140 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1400 кгс/см}^2\text{)}$$

Определяем отношение определяющих параметров δ_d и P с учетом коэффициента $\varphi_{ш}$ [11]

$$\delta_d / P \cdot \varphi = 140 / 1,058 \cdot 0,95 = 126 > 25$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки определяем по формуле: [11]

$$S^1 = D_b P / 2 \delta_d \varphi \quad (3.2)$$

где P - расчетное давление в аппарате в Мн/м^2 (кгс/см^2);

δ_d - допускаемое напряжение на растяжение для материала обечайки в Мн/м^2 ;

D_b - диаметр внутренний, м; φ - продольный сварной шов (0,95 см) [10].

$$S^1 = 1,8 \cdot 1,058 / 2 \cdot 140 \cdot 0,95 = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,95 \text{ мм}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 1,05 \text{ мм}$ [10].

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки при $C_d = 0$ определяем по формуле:

$$C = C_k + C_э + C_d + C_0 \quad (3.3)$$

где C_k - прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

$C_э$ - прибавка на эрозию или другой вид механического воздействия рабочей среды на материал, мм;

C_d - дополнительная прибавка по технологическим, монтажным и другим соображениям, мм;

C_0 - прибавка на округление размера, мм.

$$C = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле:

$$S=S^1+C \quad (3.4)$$

где S^1 - номинальную расчетную толщину стенки обечайки, мм;

C - суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки, мм.

$$S=7,95+2,05=10\text{мм}$$

$$\text{Проверим условие } S-C_k/D_B < 0,1 S-C_k/D_B = (10-1)/2000 = 0,005 < 0,1$$

т.е. условие выполнено.

Допускаемое давление в обечайки определяем по формуле:

$$P_d = \delta_d \varphi (s - C_k) / D_B + (3 - C_k) \quad (3.5)$$

δ_d - допустимое давление, Мн/м²;

φ - продольный сварной шов, см;

C_k - прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

D_B -диаметр внутренний, м.

$$P_d = 1,8 \cdot 140 \cdot 0,95 \cdot (0,01 - 0,001) / 1,8 + (0,01 - 0,001) = 1,19 \text{ Мн/м}^2 \quad (11,9 \text{ кгс/см}^2)$$

Вывод: рассчитанная обечайка соответствует заданному аппарату.

Определим толщину стенки нижнего стандартного конического отбортованного днища для сварной обечайки вертикального аппарата-полимеризатора [11]:

Материал днища сталь 12X18H10T $C_k=1\text{мм.}$
 $\delta_d = \delta_{ид} = 140 \text{ Мн/м}^2 \quad (1400 \text{ кгс/см}^2) \quad P = 1,06 \text{ Мн/м}^2 \quad (10,6 \text{ кгс/см}^2)$

$$D_B = 1,8 \text{ м}, \quad R_B / D_B = 0,15.$$

Определим отношение определяющих параметров δ_d и P с учетом коэффициента:

$$\varphi_{ш} \delta_d / r \cdot \varphi_{ш} = 140 / 1,06 \cdot 0,95 = 125,2 > 50 > 3$$

Коэффициент формы днища при $\lambda = 30^\circ$ и $R_b/D_b = 0,15$ определим по графику (график для определения фактора формы днища).

Номинальную расчетную толщину стенки днища сначала определяем по формуле:

$$S^1 = D_b \cdot r \varphi / 4 \delta \varphi \quad (3.6)$$

$$S^1 = 1,8 \cdot 1,06 \cdot 1,4 / 4 \cdot 140 \cdot 0,95 = 5,59 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,59 \text{ мм}$$

Определим расчетный диаметр D по формуле: [11]

$$D = D_p / 2 \cos \lambda (\varphi - P) \quad (3.7)$$

где P - расчетное давление в аппарате, Мн/м^2 ;

δ_d - допускаемое напряжение на растяжение для материала днища, Мн/м^2 ;

D_b - расчетный диаметр, м.

$$D = D_b - 2[R_b(1 - \cos \lambda) + 10s^1 \sin \lambda] = 2 - 2[0,3(1 - \cos 30^\circ) + 10 \cdot 5,59 \cdot 10^{-3} \sin 30^\circ] = 1,864 \text{ м}$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища теперь определим по формуле

$$:S^1 = D_p / 2 \cos \lambda \delta_d \cdot \varphi \quad (3.8)$$

Принимая в ней $\varphi = 1$, сварной шов удален от тороидального перехода на величину, большую:

$$0,5 \sqrt{D_s / \cos \lambda} S^1 = D_p / 2 \cos \lambda \delta_d \cdot \varphi = 1,864 \cdot 1,06 / 2 \cos 30^\circ \cdot 140 \cdot 1 = 8,15 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 8,15 \text{ мм}.$$

За расчетное значение s^1 принимаем большее значение по формуле (3.9)

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту)

$$C_0=0,85\text{мм [4].}$$

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (3.9.1)

$$C=1+0+0,85=1,85\text{мм.}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле:

$$S=S^1+C \quad (3.9.2)$$

где S^1 - номинальная расчетная толщина стенки днища;

C - суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки, мм.

$$S=8,15+1,85=10\text{мм.}$$

Допускаемое давление в днище согласно формуле 3.9.1, 3.9.2,

$$P_d=4\delta_d \cdot \varphi(S-C_k)/D_{вн} \quad (3.9.1)$$

где δ_d допускаемое напряжение на растяжение для материала днища, Мн/м^2

S - толщину стенки обечайки с учетом прибавок, мм;

C_k - прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал, мм;

$D_{вн}$ - диаметр внутренний, м;

$$P_d=4 \cdot 140 \cdot 0,95 \cdot (10-1) \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 1,4 = 1,7 \text{Мн/м}^2 \quad (17 \text{кгс/см}^2)$$

Вывод: рассчитанное днище соответствует заданному аппарату.

Расчет опоры для полимеризатора:

Установка химических аппаратов на фундаменты или на специальные несущие конструкции осуществляется большей частью посредством опор. При подвеске аппарата на несущей конструкции,

междуперекрытиями (полимеризатор так и установлен) примем опоры типов VI-IX (основные опоры применяемые в химических аппаратах). При конструировании опор VI-IX, одним из основных элементов которых является ребро, рекомендуется отношение вылета к высоте ребра l/h принимать равным 0,5 [11],

Расчетная толщина ребра s^1 определяется по формуле:

$$s^1 = 2,24G/kZ\delta_d l \quad (3.9.2)$$

где G - нагрузка на опору, н. k - коэффициент, зависящий от соотношения l/s .

Z - число ребер в опоре.

l - вылет опоры, м.

Значение коэффициента k рекомендуется предварительно принять $k=0,6$. Если значение s^1 будет менее $1/13$, то расчетная величина s^1 является окончательной [11],[18].

Рассчитаем основные размеры подвесной лапы для вертикального цилиндрического аппарата полимеризатора, опирающегося на четыре лапы.

$G = 10 \cdot 10^4$ н., материал лапы- сталь 12Х18Н10Т ($\delta_d = 146 \cdot 10^6$ н/м²), число ребер в лапе $Z=2$, вылет опоры $l=0,25$ м, толщина стенки обечайки аппарата $s_1=24$ мм.

Принимаем отношение вылета лапы к высоте ребра ее $l/h = 0,5$ [3].

Тогда $h = l/0,5 = 0,25/0,5 = 0,5$ м.

Расчетную толщину ребра лапы при $k=0,6$ определяем по формуле:

$$S^1 = 2,24 \cdot 22054 / 0,6 \cdot 2 \cdot 146 \cdot 10^6 \cdot 0,25 = 0,0051 \text{ м.} \quad (3.9.3)$$

Отношение $l/13 = 0,25/13 = 0,0192 > s^1 = 0,0051$ м.,

поэтому уменьшаем значение k до $k=0,25$, при котором по графику (график определения коэффициента k) $3 \cdot 1/s=22,5$.

Пересчитываем

$$s' = 0,0051 \cdot 0,6 / 0,25 = 0,0123 \text{ м} > 0,25 / 22,5 = 0,011 \text{ м}.$$

Принимаем $s' = 14$ мм.

Выбираем длину опорной плиты лапы $l_1 = 0,23$ м., толщину $s = 14$ мм.

Расчетная ширина опорной плиты лапы

$$b = G / l_1 g = 10 \cdot 10^4 / 0,23 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,218 \text{ м}$$

Принимаем $b = 0,22$ м.

Согласно (стальные подкладки для подвесных лап) при допускаемой нагрузке на лапу $G = 8 \cdot 10^4$ н. и толщине стенки аппарата $s_1 = 24$ мм. Подкладка не требуется. Учитывая наличие большой нагрузки $G = 10 \cdot 10^4$ н. и руководствуясь данными (стальные подкладки для подвесных лап), принимаем в лапе подкладку с размерами $s_n = 10$ мм, $H = 700$ мм, $B = 500$ мм [17]. Ребра привариваются к подкладке круговым швом по замкнутому контуру с катетом $K = 8$ мм. Общая длина шва рассчитываем по формуле:

$$L_{\text{ш}} = 4(h+s) = 41 \cdot (0,5 + 0,014) = 2,056 \text{ м. (3.9.4)}$$

Прочность сварного шва при $\tau_{\text{сд}} = 80 \cdot 10^6$ н/м проверяем по формуле:

$$G \leq 0,7 L_{\text{ш}} K \tau_{\text{сд}} \quad (3.9.5)$$

где K - катет сварного шва, м;

$L_{\text{ш}}$ - общая длина сварных швов, м.

$$G = 10 \cdot 10^4 < 0,7 L_{\text{ш}} K \tau_{\text{сд}} = 0,7 \cdot 2,056 \cdot 0,008 \cdot 80 \cdot 10^6 = 92 \cdot 10^4 \text{ н.}$$

То есть более чем обеспечена, из этого следует, что рассчитанные опоры соответствуют заданному аппарату [16].

Расчет штуцеров для полимеризатора:[11]

Выбор диаметра штуцеров:

$$d = \sqrt{4G/\pi \cdot \rho \cdot w} \cdot 3600 \quad (3.9.6)$$

где $d = 0,0188 \sqrt{G/\rho \cdot w}$;

где u - скорость потока, м/с;

ρ - плотность потока, кг/м³;

G - расход потока, кг/ч.

Штуцер для ввода капролактама и регенерированного капролактама: [4]

$$d = 0,0188 \sqrt{G_1/\rho \cdot w} \quad (3.9.7)$$

где G - расход капролактама и регенерированного капролактама;

ρ - плотность капролактама.

Определяем скорость потока:

$$7251,3/3600 = 0,82 \text{ м/с}$$

$$d = 0,0188 \cdot \sqrt{3323/1,025 \cdot 0,82} = 0,689 \text{ м.}$$

Принимаем $d = 80$ мм.

Штуцер для вывода расплава полиамида:

$$d_2 = 0,0188 \sqrt{G_2/\rho_{\text{п}} \cdot w} \quad (3.9.8)$$

где G_2 - расход расплава полиамида;

$\rho_{\text{п}}$ - плотность расплава полиамида.

$$d_2 = 0,0188 \sqrt{671,2/1,1 \cdot 1,2} = 0,110 \text{ м}$$

Штуцер для вывода расплава полиамида принимаем $d_2 = 125$ мм.

Вывод: согласно расчетам, принимаем диаметр штуцеров большего диаметра, чем расчетные, это обеспечит ввод сырья и вывод продукта из реактора с запасом.

3 Безопасность и экологичность проекта

3.1 Общие положения

Раздел «Безопасная эксплуатация производства «технологического регламента производства полиамида ПА-6 разработан в соответствие с требованиями РД 09-251-96 «Положение о порядке разработки и содержании раздела «Безопасная эксплуатация производств» технологических регламентов, утвержденное постановлением Госгортехнадзора России от 18 декабря 1998 г. №77.

3.2 Обеспечение пожарной безопасности на производственном месте

Источником пожара могут быть искры, короткое замыкание, разгерметизация оборудования, появление в опасных местах воспламенения, утечка газа.

Для предупреждения пожаров в корпусе полиамида установлены датчики огня, пожара и дыма, где имеется подвод азота там установлены газоанализаторы. В целях противопожарной профилактики все электроприборы заземлены, имеется защитное отключение электроэнергии.

Полы в корпусе выполнены из не сгораемых материалов.

В случае возникновения пожара в корпусе, в качестве первичных средств пожаротушения применяются: песок, вода асбестовое полотно, кошма, углекислотные огнетушители типа ОУ- 2, азот.

Для обеспечения пожаротушения в начальной стадии в коридоре на внутренней водопроводной сети установлены противопожарные краны. Просеянный песок находится в металлическом ящике. Песок применяется при тушении мелких очагов возгорания, кроме электрооборудования. Вода используется для тушения несмешивающихся жидкостей, имеющих плотность больше 1. Гасящие свойства асбестового полотна основаны на прекращении доступа воздуха к горящему материалу. Азот используется для тушения пожаров только в закрытых объемах. Эффективным средством пожаротушения является углекислотный огнетушитель ОУ-2, который применяется для тушения пожаров в закрытых помещениях при небольших открытых загораниях всех видов горючих веществ. Производственный корпус снабжен пожарными извещателями.

3.3 Характеристика опасностей, имеющих в производстве

Основные виды опасности в производстве полиамида 6 связаны с особенностями технологического процесса, выполнения технологических операций, со спецификой использованного оборудования и условиями его эксплуатации, а также возможными нарушениями правил безопасности обслуживающим персоналом. К вышеуказанным основным видам опасностям относятся:

Наличие и эксплуатация оборудования и коммуникаций , находящихся под давлением;

Наличие в производстве пожаровзрывоопасных и токсичных продуктов;

Наличие продуктов с высокими температурами;

Наличие газообразного азота, представляющего опасность удушья в местах возможного его истечения и скопления;

Наличие аппаратов- подогревателей, использующих систему подогрева динила с открытым пламенем в горелках сжигания природного газа или дизельного топлива;

Наличие компрессорного и насосного оборудования, а так же центрифуг, на которых при несоблюдении правил безопасной эксплуатации оборудования возможно получение механических или электротравм.

Наличие в производстве высокотоксичного продукта - динила, из-за которого при несоблюдении правил безопасности эксплуатации оборудования и личной гигиены возможно получение отравлений. Запыленность воздуха пылью полиамида на установке погрузки гранулята полиамида 6

3.4 Меры безопасности при ведении технологического процесса, выполнение регламента

Проектом предусмотрены мероприятия, обеспечивающие эксплуатацию производства:

Управление процессом производства полиамида производится из центрального пульта управления (ЦПУ).

Автоматическое управление процессом осуществляется с помощью микропроцессорной техники и АСУТП и обеспечивает регистрацию, сигнализацию и автоматическую защиту оборудования при аварийном отклонении параметров процесса.

Проектом предусмотрены локальные и групповые блокировки, которые переводят схему в безопасное состояние или останавливают

процесс при достижении критических параметров процесса.

Электрооборудование и средства автоматики во взрывоопасных помещениях и зонах применяются во взрывозащищенном исполнении на соответствующую среду.

Электроснабжение установки предусмотрено от двух источников питания. Компьютерная система запитана так же от двух источников через устройство бесперебойного питания, имеющее в составе аккумуляторные батареи, дающие возможность работы в течении 30 минут при отключении источников. Регулирующие клапаны и отсекатели выбраны таким образом, чтобы при отсутствии электроэнергии или воздуха КИП, они занимали положение, переводящее оборудование в безопасное состояние. На аппаратах и трубопроводах, где возможно увеличение давления выше допустимого, предусмотрены предохранительные клапаны и разрывные мембраны. Для предотвращения возможности создания в аппаратах взрывоопасных концентраций смесей паров горючих жидкостей с воздухом, емкости с ГЖ

находятся под избыточным давлением азота. Для защиты от пожара помещений корпус полимеризации предусматривает автоматическое пожаротушение. Трубопроводы и арматура с температурой выше 60 °С теплоизолируются.

Производственные помещения оборудуются общеобменной и аварийной вентиляцией.

Включение аварийных вентсистем осуществляется от показателей приборов контроля загазованности.

С целью сокращения выбросов паров терминола-66 и динила при аварийной разгерметизации оборудования и уменьшения степени воздействия пожара и взрыва системы обогрева секционированы на блоки. На вводе в корпус установлены задвижки с электроприводом, отсекающие подачу капролактама, уксусной кислоты.

Предусматриваются мероприятия по аварийному освобождению продуктов и системы, сбору проливов:

Производственные и вспомогательные помещения обеспечиваются первичными средствами пожаротушения и противопожарным инвентарем в соответствии с действующими правилами. В производственных помещениях корпусе полимеризации предусматриваются раковины самопомощи.

Для проведения ремонтных работ в закрытых аппаратах используются шланговый противогаз (марки ПШ-1) или изолирующий противогаз марки КИП-8.

Действие персонала в аварийной ситуации определено «планом локализации аварийных ситуаций»

3.5 Способы обезвреживания и нейтрализации продуктов производства при разливах и авариях

Запрещается работать на разгерметизированном оборудовании, коммуникациях.

Необходимо выявить источник загазованности и принять меры для устранения его.

Случайно пролитые продукты должны быть смыты водой в дренажную емкость.

При проливе уксусной кислоты, нейтрализовать щелочным раствором и смыть в дренажную емкость.

При возможных проливах динила необходимо локализовать пролив абсорбирующим материалом (песок или древесные опилки) или собрать динил механически и заполнить в маркированные герметичные емкости.

3.6 Обеспечение электробезопасности на производственном участке

Для класса ВОЗ В - 1а выбираем уровень взрывозащиты электрооборудования - повышенной надежности против взрыва. [26]

Для защиты работающих от поражения электрическим током применяется заземление всех металлических токопроводящих частей оборудования, находящегося под напряжением, а также заземление, защитное отключение, изоляция токоведущих частей.

На металлических поверхностях и в запыленных помещениях возможно накопление зарядов статического электричества. Для предупреждения накопления зарядов все электрооборудование заземлено. Наиболее допустимое сопротивление заземляющего устройства $R=10$ Ом.

3.7 Требования безопасности при складировании и хранения сырья

В производство полиамида по трубопроводам поступают на переработку в качестве сырья — жидкий капролактан, а так же вспомогательные материалы: азот, деминерализованная вода.

Эксплуатация газопроводов должна соответствовать требованиям

«Правил устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов ПБ-03-108-96» и общезаводской «Инструкции по безопасной эксплуатации, ревизии, ремонту и испытаниям трубопроводов ОМ-17»

Для защиты трубопроводов от накапливания зарядов статического электричества выполнено заземление в соответствии с требованиями «Правил по защите от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности». Технологический пар, используемый в производстве, поступает по трубопроводам. Эксплуатация трубопроводов должна соответствовать «Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды».

Жидкий капролактан поступает на производство полиамида по трубопроводам, выполненным из нержавеющей стали. Хранение капролактама осуществляется под азотной подушкой в двух 50м³ емкостях из нержавеющей стали. Емкости обогреваются горячей водой. Температура транспортировки должна быть 90-95⁰С. Емкости должны быть герметичны, не допускать нагрева капролактама свыше 90⁰С и охлаждения ниже 75⁰С.

Капролактан — горючее вещество, при его горении выделяются оксид азота, аммиак, оксид углерода. Опасные реакции начинаются со 100⁰С, возможны опасные реакции с окислителями. Капролактан- токсичное вещество, поэтому при работе с ним обслуживающий персонал должен работать в спецодежде, защитных перчатках, в защитных очках. И иметь при

себе средства индивидуальной защиты — фильтрующий противогаз марки А или БКФ.

Все помещения, в которых проводятся работы с капролактамом, должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей содержание капролактама не более 10мг/м^3

Уксусная кислота поступает на производство в таре поставщика в соответствии с требованиями ГОСТ 3885-73. Продукт перевозят всеми видами транспорта в соответствии с правилами перевозок огнеопасных грузов. Уксусная кислота хранится в закрытой герметичной таре емкостях из нержавеющей стали или в таре поставщика в помещении, специально приспособленном для хранения огнеопасных веществ, защищенных от действия прямых солнечных лучей и атмосферных осадков.

Уксусная кислота - легковоспламеняющаяся жидкость с резким специфическим запахом. Работы с уксусной кислотой проводить вдали от огня. Помещения, в которых проводятся работы с уксусной кислотой должны быть оборудованы приточно-вытяжной механической вентиляцией.

Уксусная кислота относится к 3 классу опасности и имеет ПДК 5мг/м^3 , она вызывает ожоги кожи и при превышении ПДК пары уксусной кислоты действуют раздражающе на верхние дыхательные пути человека, поэтому работы с уксусной кислотой необходимо проводить в спец одежде, защитных перчатках, в защитных очках, использовать средства индивидуальной защиты- фильтрующие противогазы марок В или БКФ.

Динил поступает на производство полиамида в бочках, хранится на складе. В этих бочках, из которых динил перекачивается погружным насосом в емкость для хранения, обогреваемую (через змеевик) горячей водой. Пары динила ядовиты, ПДК 7мг/м^3 , поэтому при работе с динилом необходимо работать в спецодежде, резиновых перчатках и защитных очках, иметь при себе средства индивидуальной защиты- фильтрующие противогазы марки БКФ.

Помещение, в котором находится оборудование и бочки с динилом, должно быть обеспечено приточно-вытяжной вентиляцией.

Динил в процессе эксплуатации при температуре выше 385⁰С склонен к термическому разложению и образованию бензола, смол и твердого углерода. Для предотвращения самоокисления жидкого динила необходимо следить за исправным состоянием инертной защиты азотом.

Полиамид ПА-6 - твердый горючий материал, хранится на складе в силосах, отгружается потребителям в мешкотаре типа «БИГ-БЭГ».

Термическое разложение начинается с 350⁰С, поэтому не допускается его перегревы или попадание прямых солнечных лучей. При термическом разложении, которое возможно при пожаре полиамида или его перегреве в результате его неправильной обработки, возможно выделение вредных для здоровья обслуживающего персонала газов или паров, поэтому помещение склада должно быть обеспечено приточно-вытяжной вентиляцией, а обслуживающий персонал должен выполнять работы с полиамидом в спецодежде, положенной по норме, и иметь средства индивидуальной защиты.

Заключение

В плане совершенствования технология получения полиамида 6 гидролитической полимеризацией очевидно должна идти под двум путям:

-разработка новых технологий и построения аппаратурного процесса, получение полимера с макромолекулами строго линейной формы;

-поиск глобальных технических решений, достигающие на стадии синтеза полимера количества циклических олигомеров до безопасного уровня, а именно такие качества как формуемых нитей, уровня и возможность удаления непрореагировавшего капролоктама способом, не требующим применения жидкостной экстракции.

Был введен вакуум в полимеризатор AR3202 на стадии полимеризации. В целях экономии трубопровод подсоединен после конденсатора к вакуумным насосам. Это позволит получать расплав, который будет иметь большую вязкость и даст возможность увеличить уровень продаж.

Введение вакуума снизит затраты природного газа и электроэнергии.

Список используемой литературы

- 1) Овчинников В.И., Ручинского В.Р. //Производство капролактама// Москва,1977.-264с.
- 2) //Регламент цеха по производству полиамида-6// ОАО КуйбышевАзот// Тольятти,2005.-97с.
- 3) Мищенко, К.П.Краткий справочник физико-химических величин / и А.А.Равдель; под ред.К.П.Мищенко, Л.: Химия, 1974, - 200 с.
- 4) Дытнерский, Ю.И. Основные Процессы и аппараты химической технологии / Г.С. Борисов, Ю.И. Дытнерский.- М.: «Химия», 1991. - 634с.
- 5) Плановский, А. И. Процессы и аппараты химической технологии / А. И, В.М. Рамм., С.З. изд. 2-ое, доп. и перераб. – М.: Химия, 1962. - 534с.
- 6) Кнунянц, Л.И. Современные методы синтеза мономеров для гетероцепных волокнообразующих полимеров / Л.И. Кнунянц: М.-ВИНИТИ, 1961.-183 с
- 7) Любарский, Г.Д. Химическая промышленность / Г.Д. Любарский, М.М.Стрелец. - М.: Наука. – 1967.
- 8) Флореа, О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии / под ред. С.З. Кагана. – М.: Химия, 1971. – 419 с.
- 9) Гутник, С.П. Расчеты по технологии органического синтеза / С.П.Гутник, М.: Химия, 1988. – 272 с.
- 10) Кабанов, В.А. Энциклопедия Полимеров / П - Я; ред. коллегия: В.А. Кабанов (глав.ред) [и др.] Т.3 - М. "Советская Энциклопедия", 1977. - 1152 с.
- 11) Митинов А. В. Машины и аппараты химических производств / Оборудование для производства полимерных и строительных материалов; А. В. Митинов, О. Н. Жаркова.– Новополюцк: ПГУ, 2008. - 280 с.
- 12) Стрелец, М.М. Химическая промышленность / М.М. Стрелец М.: «Химия», – 1968, №8
- 13) Роговин, З.А. Основы химии и технологии химических волокон / З.А, Роговин.изд. 4 - ое, т. 2.-М.: Химия, 1974.-354 с.

- 14) Постоянный технологический регламент производства полиамида - 6 ОАО «КуйбышевАзот».
- 15) Каргин, В.А. Энциклопедия Полимеров / В.А. Каргин [и др.] Т.1 - М.: "Советская Энциклопедия", 1972.-1224 с.
- 16) Бартенев, Г.М. Физика полимеров / Г.М. Бартенев, А.М.Ельяшевич С.Я. Френкель; под ред. д-ра физ. - мат. наук А.М.Ельяшевича. - Л.: Химия, 1990. - 432 с.
- 17) Образовательный портал [электронный ресурс]/Общие сведения о полиамидах. - Режим доступа <http://anid.ru/poliamid/>, свободный. (Дата обращения 2.03.2016)
- 18) Сайт компании АНИД [электронный ресурс] /Физико-химические закономерности получения полиамидов. - Режим доступа <http://www.chemitradition.ru/cholit-399.html/>, свободный. (Дата обращения 18.03.2016)
- 19) Методы исследования структуры и свойств полимеров Учебн.пособие / И.Ю. Аверко-Антонович, Р.Т.Бикмуллин.. - Казань.: КГТУ, 2002. -604 с.
- 20) Образовательный портал [электронный ресурс] /Физико-химические закономерности получения полиамидов (полиамид - 6, полиамид 6,6,полиамид - 10). - Режим доступа <http://www.chemiemaniamania.ru/chemie6923.html/>, свободный.
- 21) Образовательный портал [электронный ресурс] /Физико-химические свойства полиамидов - Режим доступа <http://www.chemitradition.ru/cholit399.html/>, свободный.
- 22) Allcock H.R., Lampe F.W. and Mark J.F. Contemporary Polymer Chemistry (3rd ed. PearsonPrentice-Hall 2003), p.29-30 ISBN 0-13-065056-0
- 23) Clayden, J., Greeves, N. and Warren, S. (2000). Organicchemistry, OxfordUniversityPress ISBN 0198503466 pp. 1450–1466
- 24) Fried, Joel R. (2003). Polymer Science and Technology (2nd ed.). Prentice-Hall. p. 23. ISBN 0-13-018168-4.

- 25) Lynn, David M.; Langer, Robert (2000). "Degradable Poly(β -amino esters): Synthesis, Characterization, and Self-Assembly with Plasmid DNA". *Journal of the American Chemical Society*. 122
- 26) Soto, Marc; Sebastián, Rosa María; Marquet, Jordi (2014). "Photochemical Activation of Extremely Weak Nucleophiles: Highly Fluorinated Urethanes and Polyurethanes from Polyfluoro Alcohols". *J. Org. Chem.* 79 (11): 5019–5027
- 27) International Union of Pure and Applied Chemistry, et al. (2000) *IUPAC GoldBook, Polymerization*
- 28) The Macrogalleria: A Cyberwonderland of Polymer Fun". www.pslc.ws. Retrieved 2018-08-01
- 29) Viscosity of Polymer Solutions". polymerdatabase.com. Retrieved 2019-03-05.
- 30) Friend, R. H.; Gymer, R. W.; Holmes, A. B.; Burroughes, J. H.; Marks, R. N.; Taliani, C.; Bradley, D. D. C.; Santos, D. A. Dos; Brdas, J. L.; Lgdlund, M.; Salaneck, W. R. (1999). "Electroluminescence in conjugated polymers". *Nature*. 397 (6715): 121–128.
- 31) Kricheldorf, Hans, R. (2006), "Polypeptides and 100 Years of Chemistry of α -Amino Acid N-Carboxyanhydrides", *Angewandte Chemie International Edition*, 45 (35): 5752–5784,
- 32) Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности: учебносправочное руководство / Л.А. Сена : - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. - 432 с
- 33) Lutz, Jean-François; Ouchi, Makoto; Liu, David R.; Sawamoto, Mitsuo (2013-08-09). "Sequence-Controlled Polymers". *Science*. 341 (6146): 1238149.
- 34) Allcock, Harry R.; Lampe, Frederick W.; Mark, James E. (2003). *Contemporary Polymer Chemistry* (3 ed.). Pearson Education. p. 21. ISBN 978-0-13-065056-6.
- 35) Sperling, L. H. (Leslie Howard) (2006). *Introduction to physical polymer science*. Hoboken, N.J.: Wiley. p. 10. ISBN 978-0-471-70606-9.

- 36) Membranes on Polyolefins Plants Vent Recovery, Improvement Economics Program. *Intratec*. 2012-08-02. ISBN 978-0615678917. *Archived from the original on 2013-05-13*.
- 37) Duarte, F. J. (1999). "Multiple-prism grating solid-state dye laser oscillator: optimized architecture". *Applied Optics*. 38 (30): 6347–6349. Bibcode:1999ApOpt..38.6347D. doi:10.1364/AO.38.006347. PMID 18324163.
- 38) Duarte, F. J. (2003). *Tunable Laser Optics*. New York: Elsevier Academic. ISBN 978-0122226960
- 39) Wilks, E.S. "Macromolecular Nomenclature Note No. 18". *Archived from the original on 25 September 2003*.
- 40) Lewis, Peter Rhys (2010). *Forensic polymer engineering : why polymer products fail in service*. Cambridge [etc.]: Woodhead Publishing. ISBN 978-1-84569-185-1.
- 41) Workman, Jerome; Workman, Jerry (2001). *Handbook of organic compounds: NIR, IR, Raman, and UV-Vis spectra featuring polymers and surfactants*. San Diego: Academic Press. ISBN 978-0-12-763560-6.
- 42) Wright, David C. (2001). *Environmental Stress Cracking of Plastics*. RAPRA. ISBN 978-1-85957-064-7.
- 43) Альперт, Л.З. Основы проектирования химических установок : учеб. пособие для учащихся химико-механич. спец. техникумов / Л.З. Альперт - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш.шк., 1989. - 304 с.; ил.
- 44) ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением N 1)
- 45) Тимофеева, С.С. Методы и технологии оценки производственных рисков: практические работы для магистрантов по направлению «Техносферная безопасность» / С.С. Тимофеева..- ИрГТУ, 2014. – 177 с.
- 46) ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1)

- 47) Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов // под общ.ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1999. – 448с
- 48) Занько, Н.Г. Безопасность жизнедеятельности [Текст]/ Н.Г. Занько, Г.А. Корсаков, К.Р. Малаян и др.; под общ.ред. О.Н. Рускак. – С.-Пб.: Петербургская лесотехническая академия, 1996.
- 49) Шмаль, А.Г. Факторы экологической опасности и экологические риски / А.Г Шмаль. - г.Бронницы: МП «ИКЦ БНТВ», 2010 г
- 50) Гутник, С.П. Расчеты по технологии органического синтеза / С.П.Гутник, М.: Химия, 1988. – 272 с.
- 51) Варгафтик, В.Д. Справочник по теплофизическим свойствам жидкостей и газов / В.Д. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
- 52) Чернышев, А.К. Сборник номограмм для химико-технологических расчетов / А.К.Чернышев, К.Л. Поплавский, Н.Д Заичко – Л.: Химия, 1974. – 200 с.
- 53) Rudin, Alfred (1982). The elements of polymer science and engineering. AcademicPress. ISBN 978-0-12-601680-2.
- 54) Iakovlev, V.; Guelcher, S.; Bendavid, R. (August 28, 2015). "Degradation of polypropylene in vivo: A microscopic analysis of meshes explanted from patients". Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. 105 (2): 237–248. doi:10.1002/jbm.b.33502. PMID 26315946.
- 55) Ten Feizi; Wengang Chai (2004). "Oligosaccharide microarrays to decipher the glyco code". NatureReviewsMolecularCellBiology. 5 (7): 582–588. doi:10.1038/nrm1428. PMID 15232576.
- 56) Painter, Paul C.; Coleman, Michael M. (1997). Fundamentals of polymer science : an introductory text. Lancaster, Pa.: TechnomicPub. Co. p. 1. ISBN 978-1-56676-559-6.
- 57) De Gennes, Pierre Gilles (1979). Scaling concepts in polymer physics. Ithaca, N.Y.: CornellUniversityPress. ISBN 978-0-8014-1203-5.

- 58) Sayed, Abu (August 2014). "Types of polymer : Requirements of fibre forming polymer". TextileApex.
- 59) Allcock, Harry R.; Lampe, Frederick W.; Mark, James E. (2003). Contemporary Polymer Chemistry (3 ed.). Pearson Education. p. 546. ISBN 978-0-13-065056-6.
- 60) Meille, S.; Allegra, G.; Geil, P.; et al. (2011). "Definitions of terms relating to crystalline polymers (IUPAC Recommendations 2011) (PDF)" (PDF). PureandAppliedChemistry.
- 61) Fried, Joel R. Polymer Science & Technology (2nd ed.). PrenticeHall. pp. 155–6. ISBN 0-13-018168-4.
- 62) Brandrup, J.; Immergut, E.H.; Grulke, E.A. (1999). Polymer Handbook (4 ed.). Wiley-Interscience. ISBN 978-0-471-47936-9.
- 63) Wilks, E.S. "Macromolecular Nomenclature Note No. 18". Archived from the original on 25 September 2003.
- 64) Dalton L., Harper A., Ren A., Wang F., Todorova G., Chen J., Zhang C., Lee M. // Ind. Eng. Chem. Res. 1999. V. 38. № 1. P. 8.
- 65) Abo El Wafa A.M., Okada S., Nakanishi H. // Dyes and Pigments. 2006. V. 69. № 3. P. 239.
- 66) Choa M.J., Choia D.H., Sullivan P.A., Akelaitis A.J.P., Dalton L.R. // Progr. Polym. Sci. 2008. V. 33. № 11. P. 1013.
- 67) Kamanina N.V., Emandi A., Kajzar F., Attias A.(J. //Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2008. V. 486. № 11. P. 1043.