

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

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

(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов»

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему: Модернизация предполимеризатора производства полиамида-6

Обучающийся

А.О. Сечкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023



Росдистант

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО

Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Модернизация предполимеризатора производства полиамида-6».

Выпускная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, 2 таблиц, 14 рисунков, список используемых источников.

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос влияния работы предполимеризатора на качество полиамида-6

Целью работы является повышение качества полиамида-6 по параметру внешний вид и индекс желтизны.

Объектом исследования стадия полимеризации производства полиамида-6.

Во введении ставится цель и формулируются задачи работы.

В первом разделе проанализированы основные свойства полиамида, химизм процесса синтеза и влияние показателей качества на свойства.

Во втором разделе рассмотрена технологическая схема процесса, патентная и литературная информация, предложено техническое решение

В третьем разделе приводятся данные по расчетам основного оборудования

В заключении делаются выводы о техническом эффекте оптимизации.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Аналитическая часть..... | 5 |
| 1.1 Свойства полиамидов | 5 |
| 1.2 Химизм и технология процесса синтеза полиамида | 9 |
| 1.3 Анализ показателей качества полиамида-6..... | 11 |
| 2 Технологическая часть | 17 |
| 2.1 Описание технологической схемы производства полиамида-6..... | 17 |
| 2.1.1 Узел приготовления и дозирования растворов | 18 |
| 2.1.2 Склад капролактама | 22 |
| 2.1.3 Приготовление компонентов и полимеризация..... | 24 |
| 2.1.4 Гранулирование..... | 29 |
| 2.1.5 Экстрагирование | 32 |
| 2.1.6 Сушка гранулята полиамида..... | 36 |
| 2.2 Анализ технической возможности повышения качества продукции и техническое предложение по оптимизации процесса..... | 46 |
| 3 Расчетная часть..... | 51 |
| 3.1 Материальный баланс процесса | 51 |
| 3.2 Тепловой баланс процесса | 53 |
| 3.3 Конструктивный расчет перемешивающего устройства и параметров процесса..... | 56 |
| Заключение | 70 |
| Список используемой литературы и используемых источников..... | 71 |
| Приложение А | 76 |
| Схема участка подготовки реакционной массы..... | 76 |

Введение

«Полиамиды - класс полимерных материалов, обладающих широким спектром применений благодаря своим уникальным свойствам. Они характеризуются высокой прочностью, устойчивостью к теплу, химическим воздействиям и износу, что делает их привлекательными для использования в различных отраслях промышленности, включая текстильную, автомобильную, электронную и многие другие» [1].

«Изначально полиамиды были открыты исследователями в середине 20 века, и с тех пор они стали объектом активных исследований и разработок. Один из наиболее распространенных полиамидов - полиамид-6 (нейлон-6), был впервые синтезирован в 1938 году. Открытие этого материала привлекло внимание инженеров и научных исследователей, которые начали экспериментировать с его свойствами и процессами синтеза» [3].

«Сегодня полиамид-6 широко используется в различных областях, от производства волокон и тканей до автомобильных деталей и электрических изоляционных материалов. Важность полиамид-6 объясняется его уникальными свойствами, такими как прочность, гибкость, химическая стабильность и способность выдерживать высокие температуры» [4].

Однако, в процессе синтеза полиамид-6 с использованием диоксида титана в качестве пигмента для придания материалу определенного цвета, возникают определенные технологические проблемы.

Целью работы является повышение качества полиамида-6 по параметру внешний вид и цветность.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить технологические основы работы получения полиамида-6;
- проанализировать существующую технологию;
- выявить возможность повышения качества продукции, предложить техническое решение;
- произвести технологические расчеты оборудования.

1 Аналитическая часть

1.1 Свойства полиамидов

Полиамиды обладают рядом уникальных свойств, которые делают их востребованными и широко используемыми в различных отраслях промышленности.

«Прочностные свойства полиамидов являются одними из их наиболее выдающихся и уникальных характеристик. Полиамиды обладают высокой механической прочностью, что означает, что они могут выдерживать большие нагрузки и силы без деформации или разрушения. Это делает полиамиды идеальными для создания прочных и надежных материалов, таких как волокна для текстильной промышленности или компоненты, которые должны выдерживать высокие нагрузки, например, в автомобильных деталях или инженерных конструкциях» [6].

«Полиамиды обладают высокой устойчивостью к растяжению, что означает, что они не легко рвутся или разрываются при деформации под нагрузкой. Это свойство делает полиамиды идеальными для применения в изделиях, которые подвергаются растяжению или требуют высокой степени гибкости, например, в спортивной одежде или резиновых изделиях» [15].

Полиамиды обладают высокой ударопрочностью, что означает, что они способны поглощать энергию удара и предотвращать разрушение материала. Это свойство делает полиамиды идеальными для использования в изделиях, которые подвергаются ударам или столкновениям, например, в автомобильных деталях или защитных элементах.

«Полиамиды обладают высокой устойчивостью к износу, что означает, что они могут выдерживать трение и истирание без значительной потери своих свойств. Это делает полиамиды прекрасным выбором для создания материалов, которые должны выдерживать постоянное трение или истирание, например, в зубчатых передачах или подшипниках» [8].

Полиамиды обладают высокой жесткостью и жесткостью при изгибе, что делает их устойчивыми к деформации или искривлению при нагрузке. Это свойство особенно важно для использования полиамидов в инженерных конструкциях, где необходима стабильность формы и жесткость материала.

«Все эти прочностные свойства полиамидов позволяют создать изделия, которые обладают высокой надежностью, долговечностью и способностью выдерживать экстремальные условия нагрузок. Это делает полиамиды востребованными и широко используемыми материалами в различных отраслях промышленности» [31].

Свойство химической стойкости полиамидов является одним из их важных и выдающихся характеристик. Полиамиды обладают высокой устойчивостью к различным кислотам. Они не разрушаются или не растворяются при контакте с кислотными средами, такими как серная кислота, уксусная кислота или соляная кислота. Это свойство делает полиамиды подходящими для применения в химической промышленности и других областях, где требуется устойчивость к кислотам.

«Полиамиды также обладают хорошей устойчивостью к щелочным средам. Они не разрушаются или не растворяются при контакте с щелочами, такими как гидроксид натрия или гидроксид калия. Это свойство делает полиамиды применимыми в области производства щелочных продуктов и процессов, где требуется устойчивость к щелочам. Полиамиды обладают химической стойкостью к многим органическим растворителям, таким как спирты, эфиры и углеводороды. Они не растворяются или не разрушаются при контакте с этими веществами, что делает полиамиды применимыми в областях, где требуется устойчивость к растворителям, например, в химической промышленности и лакокрасочной промышленности» [14].

«Полиамиды обладают высокой устойчивостью к воздействию влаги и воды. Они не разрушаются или не растворяются при контакте с водой, что делает полиамиды подходящими для использования в изделиях, которые подвергаются воздействию воды или работают во влажных условиях,

например, в текстильной промышленности или в производстве водостойких материалов» [7].

Полиамиды обладают хорошей устойчивостью к воздействию ультрафиолетового (УФ) излучения. Они не разрушаются и не теряют свои свойства при длительном воздействии УФ-излучения, что делает полиамиды подходящими для применения для изготовления изделий, которые подвергаются воздействию солнечного света.

«Термостойкость является одним из важных свойств полиамидов и определяет их способность сохранять свои механические и химические свойства при высоких температурах. Полиамиды обладают высокой стабильностью при повышенных температурах. Они сохраняют свою форму, прочность и другие свойства при нагревании, что позволяет им успешно функционировать в условиях, требующих высокой термостойкости. Некоторые полиамиды могут выдерживать температуры до 200-250°C без значительного размягчения или деградации» [16].

«При высоких температурах полиамиды сохраняют свою механическую прочность и жесткость. Они не ломаются или не деформируются при нагревании, что делает их применимыми в условиях, где требуется высокая нагрузочная способность при повышенных температурах. Полиамиды обладают хорошей устойчивостью к тепловому окислению, что означает, что они не разрушаются под воздействием кислорода при повышенных температурах. Это свойство позволяет полиаидам сохранять свои свойства и предотвращает появление вредных продуктов окисления при нагревании» [13].

Полиамиды имеют относительно низкий коэффициент термического расширения, что означает, что они не сильно расширяются или сжимаются при изменении температуры. Это свойство делает полиамиды устойчивыми к тепловым циклам и изменениям размеров при изменении температуры. Некоторые полиамиды обладают способностью выдерживать продолжительное воздействие высоких температур без значительного

размягчения или деградации свойств. Это делает их подходящими для применения в условиях, где требуется длительное нагревание или работа в высокотемпературных средах.

Стоит выделить изоляционные свойства полиамидов. Они обладают высокой удельной электрической прочностью, что означает, что они способны выдерживать высокие напряжения без электрических пробоев или проблем с изоляцией. Это делает полиамиды идеальными материалами для применения в изоляционных оболочках проводов и кабелей, электрических компонентах и других электрических устройствах. Полиамиды имеют низкий коэффициент диэлектрической проницаемости, что означает, что они плохо проводят электрический ток и обладают высокой изоляционной способностью.

«Полиамиды обладают хорошей совместимостью с различными материалами, что делает их универсальными в применении» [30].

«Полиамиды хорошо совместимы с многими металлическими материалами, такими как сталь, алюминий, медь и другие. Это позволяет использовать полиамиды в комбинации с металлическими компонентами, например, в производстве композитных материалов или при создании усиленных структур» [12].

Полиамиды могут быть совместимы с различными резиновыми и эластомерными материалами. Это открывает возможности для создания эластомерных композитных материалов с улучшенными механическими свойствами, повышенной термической стабильностью и стойкостью к износу.

Полиамиды обладают хорошей совместимостью с другими термопластичными полимерами, такими как полиэтилен, полипропилен, полистирол и др. Это позволяет создавать многослойные конструкции или композитные материалы с улучшенными свойствами, такими как прочность, жесткость или устойчивость к химическим веществам.

«Также они могут быть совместимы с стекловолокном и другими композитными материалами на основе стекловолокна. Это позволяет создавать легкие и прочные композитные изделия с улучшенными механическими свойствами» [18].

Полиамиды обладают хорошей совместимостью с компонентами адгезивов и клеёв, что делает их подходящими для соединения таких материалов как металлы, пластмассы и композиты. Эта совместимость полиамидов с другими материалами позволяет использовать их в широком спектре применений, от автомобильной промышленности и электроники до текстильной и медицинской отраслей.

1.2 Химизм и технология процесса синтеза полиамида

Очищенный капролактам капролактам при температуре 250°C полимеризуется крайне медленно. Но добавление веществ, выделяющих при повышенных температурах воду значительно ускоряет реакцию полимеризации. «Основные стадии процесса можно представить последовательным механизмом, представленным на рисунках 1-3» [17].

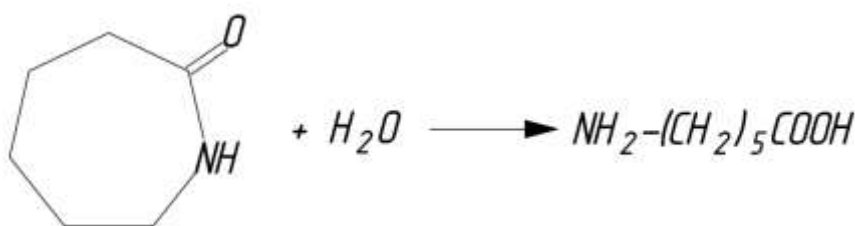


Рисунок 1 – Раскрытие цикла



Рисунок 2 –Поликонденсация

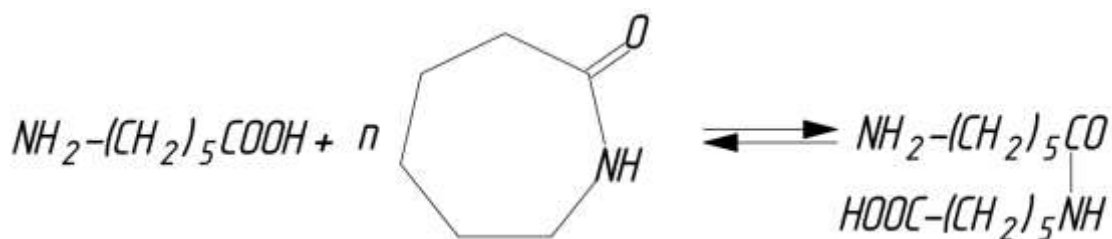


Рисунок 3 – Полиприсоединение

Димеры олигомеры с концевыми аминными и карбоксильными группами могут участвовать в реакции представленной на рисунке 2.

Циклические олигомеры также могут участвовать в этой реакции, представленной на рисунке 3.

По изменению содержания концевых групп свободной аминокислоты была установлена кинетика протекающих реакций. Полученные зависимости концентрации основных продуктов реакций от продолжительности полимеризации показали, что процесс катализируется концевыми группами и преобладающей реакцией является реакция полиприсоединения.

Две другие реакции, происходящие при полимеризации, были изучены позднее. Оказалось, что взаимодействие лактама с аминокaproновой кислотой является некаталитической реакцией, а взаимодействие лактама с амидными группами линейной цепи представляет собой реакцию переамидирования, катализируемую концевыми группами. Однако ни одна из этих реакций не оказывает существенного влияния на прохождение преобладающей реакции полиприсоединения.

«Таким образом, при гидролитической полимеризации капролактама, по-видимому, происходит гидролиз лактама с раскрытием цикла, катализируемый карбоксильными группами, с последующим присоединением лактама к концевым аминогруппам линейной цепи, катализируемой подобным же образом» [19].

На начальных стадиях синтеза полиамида-6 происходит поликонденсация капролактама, при которой образуются амидные связи и формируется полимерная структура.

После поликонденсации полимерная масса содержит остаточный капролактam, а также побочные продукты реакции, такие как вода и аммиак. Эти компоненты необходимо удалить из полимерной массы, чтобы получить чистый полиамид-6.

Одним из методов удаления остаточного капролактама является экстракция водой. В этом процессе полимерная масса полиамида-6 контактирует с водой, которая способна растворять капролактam. Вода выделяет капролактam, его димеры и тримеры из полимерной массы, образуя экстракт низкомолекулярных соединений.

После экстракции мономера водой происходит разделение на две фазы: водную фазу, содержащую растворенный капролактam, и органическую фазу, в которой находится полиамид-6. Этапы разделения могут включать отстаивание, фильтрацию или центрифугирование для разделения фаз и удаления остаточной воды.

После разделения полимерная масса полиамида-6 подвергается сушке для удаления остаточной влаги и получения готового полимера с определенными свойствами.

1.3 Анализ показателей качества полиамида-6

Качественные характеристики полиамида-6 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормируемые показатели качества товарного полиамида -6

| Наименование регламентируемого показателя | Единица измерения | Норма |
|--|-------------------|-------------------------------------|
| Внешний вид и цвет | | Гранулы овальной формы белого цвета |
| Относительная вязкость | | 2,38 – 2,56 |
| Массовая доля экстрагируемых веществ (водорастворимых) | % | не более 0,6 |
| Массовая доля влаги | % | не более 0,06 |
| Массовая доля диоксида титана (TiO ₂) | % | 0,20 – 0,40 |
| Температура плавления | °С | не менее 215 |
| Гранулометрический состав | штук в 1 г | 80 - 130 |
| Насыпная плотность | кг/м ³ | 700 ± 30 |
| Плотность | г/см ³ | 1,12 ÷ 1,15 |
| Индекс желтизны | ед. цв. | не нормируется |
| Концевые группы – NH ₂ | ммоль/кг | 48±0,05 |

Анализ указанных показателей качества полиамида позволяет оценить их влияние на свойства продукта и его стоимость.

Относительная вязкость полиамида указывает на его текучесть и способность к обработке. Более высокие значения вязкости могут указывать на лучшую прочность и стабильность продукта, но при этом могут потребоваться более высокие энергозатраты для его обработки.

«Низкие значения массовой доли экстрагируемых веществ (водорастворимых) и массовой доли влаги свидетельствуют о хорошей степени очистки и сухости полиамида. Это важно для обеспечения стабильности свойств и предотвращения негативного влияния воды или растворенных веществ на продукт» [32].

Добавление диоксида титана может влиять на цветовые свойства полиамида, обеспечивая желаемый оттенок или интенсивность цвета продукта.

Высокая температура плавления полиамида указывает на его термостабильность и способность выдерживать повышенные температуры

без размягчения или деформации. Это важно для приложений, где требуется высокая термостойкость.

Указанный диапазон количества гранул в 1 г продукта указывает на размер и распределение гранул полиамида. Это может влиять на его обработку, растворимость, а также на равномерность и качество окончательного изделия.

Насыпная плотность и плотность указывают на массу и объем полиамида. Эти показатели могут быть важными при расчете необходимого количества материала для производства и при оценке его стоимости.

Показатель количества концевых аминных групп в полиамиде может влиять на его химическую реактивность, адгезию и другие свойства.

«В целом, указанные показатели качества оказывают влияние на свойства и производственные характеристики полиамида, а также могут влиять на его стоимость. Например, более высокие показатели вязкости или термостойкости могут повысить стоимость продукта, так как требуют более сложного процесса производства или использования специальных добавок. Однако, эти свойства также обеспечивают лучшую производительность и качество конечного изделия, что может быть важно для определенных приложений» [34].

Цвет и индекс желтизны являются важными характеристиками полиамидов, которые оказывают влияние на свойства изделий из этого материала и на их стоимость.

«Цвет полиамидов может быть важным фактором при производстве изделий, особенно в тех случаях, когда требуется эстетическая привлекательность или соблюдение определенных цветовых стандартов. Например, в текстильной и модной промышленности цвет полиамидов играет ключевую роль при создании тканей и одежды. Точный и стабильный цвет полиамидных изделий является важным фактором для их коммерческой привлекательности и соответствия требованиям потребителей» [5].

Цвет полиамидных изделий может оказывать некоторое влияние на их свойства. Например, определенные пигменты, используемые для окрашивания полиамидов, могут повлиять на их механические свойства, включая прочность и устойчивость к ударным нагрузкам. Кроме того, цвет может влиять на тепловую устойчивость полиамидных изделий, поскольку некоторые пигменты могут изменять показатели термической стабильности материала.

«Ответственное поддержание требуемого цвета полиамидных изделий может повлиять на их стоимость. Процесс подбора и соблюдения желаемого цвета может требовать дополнительных технологических операций и использования специальных пигментов или красителей. Это может привести к дополнительным расходам на материалы и производственные затраты, что в конечном итоге может повлиять на стоимость изделий» [33].

Индекс желтизны является мерой степени окрашивания полиамидов и характеризует их цветовую стабильность. Чем выше индекс желтизны, тем более заметным является желтый оттенок полиамида. Индекс желтизны является особенно важным в приложениях, где требуется высокая эстетическая привлекательность, таких как автомобильные детали, электронные устройства или бытовые товары.

«Влияние индекса желтизны на свойства: Высокий индекс желтизны может указывать на возможность изменения цвета полиамидного изделия со временем под воздействием света, тепла или других факторов. Это может оказывать негативное влияние на эстетическое качество продукта и приводить к его досрочному старению. Кроме того, высокий индекс желтизны может указывать на наличие примесей или дефектов в процессе производства, которые могут негативно сказаться на механических свойствах изделия» [34].

Продукты с низким индексом желтизны обычно более ценны, так как они требуют более тщательного контроля и поддержания качества процесса производства. Это может включать использование высококачественных

сырьевых материалов, точную регулировку процессов окрашивания и контроль индекса желтизны на каждом этапе производства. Такие технологические меры способствуют получению продуктов с улучшенными эстетическими свойствами и соответствующими требованиям рынка.

Таким образом, поддержание требуемого цвета и низкого индекса желтизны в полиамидных изделиях важно для обеспечения их высокого качества, эстетической привлекательности и соответствия требованиям рынка. Это требует применения соответствующих технологических мер, контроля качества и использования высококачественных материалов, что может повлиять на стоимость производства и конечных изделий.

«Содержание диоксида титана (TiO_2) в полиамидной реакционной массе и равномерность его распределения играют важную роль в формировании цвета полиамидных изделий. Диоксид титана является одним из основных пигментов, используемых для окрашивания полиамидов, и его присутствие влияет на цветовые характеристики продукта» [6].

Указанное содержание диоксида титана (TiO_2) в полимерной массе (0,20-0,40%) свидетельствует о том, что добавление данного пигмента происходит в процессе полимеризации полиамида-6. Целью добавления диоксида титана является придание продукту белого цвета или его оттенка. Контроль содержания диоксида титана важен для обеспечения однородности цвета полиамидного материала.

При введении диоксида титана в полимерную массу на стадии полимеризации важно обеспечить его равномерное распределение по всей массе. Это позволяет достичь однородности цвета и избежать образования пятен или неравномерно окрашенных областей в полиамидных изделиях. Равномерное распределение диоксида титана также способствует снижению вариации цвета между разными партиями или частями изделий.

«Равномерность распределения диоксида титана в реакционной массе полимеризации имеет прямое влияние на качество и внешний вид полиамидных изделий. Если диоксид титана неравномерно распределен, то

могут возникнуть нежелательные эффекты, такие как неравномерность цвета, пятна, маркировки или прозрачные области в изделии» [11].

Для достижения равномерного распределения диоксида титана в полиамидной реакционной массе на стадии полимеризации могут быть применены различные технологические меры такие как предварительное диспергирование, использование диспергирующих агентов, контроль температурного поля в полимеризаторе.

Самым простым способом достижения равномерности распределения является использование перемешивающего устройства, для обеспечения интенсивного перемешивания реакционной массы.

Таким образом, содержание и равномерность распределения диоксида титана в реакционной массе на стадии полимеризации полиамида-6 играют важную роль в формировании цвета полиамидных изделий. Обеспечение требуемых показателей цвета и равномерности распределения диоксида титана требует применения соответствующих технологических мер и контроля процесса, что влияет на качество продукта и его стоимость.

2 Технологическая часть

2.1 Описание технологической схемы производства полиамида-6

«Производство полиамида-6 состоит из следующих технологических участков» [33]:

- ТУ 110 - узел приготовления и дозирования добавок, выполнен в одну линию;
- ТУ 120 - склад лактама, выполнен в одну линию;
- ТУ 130 - приготовление компонентов и полимеризация, выполнен в одну линию;
- ТУ 140 - гранулирование, выполнен в две линии;
- ТУ 150 - экстрагирование, выполнен в две линии;
- ТУ 160 - сушка, выполнена в две линии;
- ТУ 180 - регенерация, выполнена в одну линию;
- ТУ 190 - склад теплоносителя и система обогрева для полимеризации, выполнен в одну линию;
- ТУ 230 - транспортировка, хранение, фасовка гранулята;
- ТУ 920 - Компрессия воздуха КИПиА;
- ТУ 935 - установка удаления кислорода из деминерализованной воды, выполнен в одну линию;
- ТУ 950 - установка дополнительной очистки азота, выполнен в одну линию;
- ВОЦ-11 – водооборотный цикл (корпус 398), выполнен в одну линию;
- ТУ010 - узел сбора стоков;
- узел сбора парового конденсата;
- водоподгреватель паровой, корпус 712А.

Связь основных технологических стадий показана на рисунке 4.

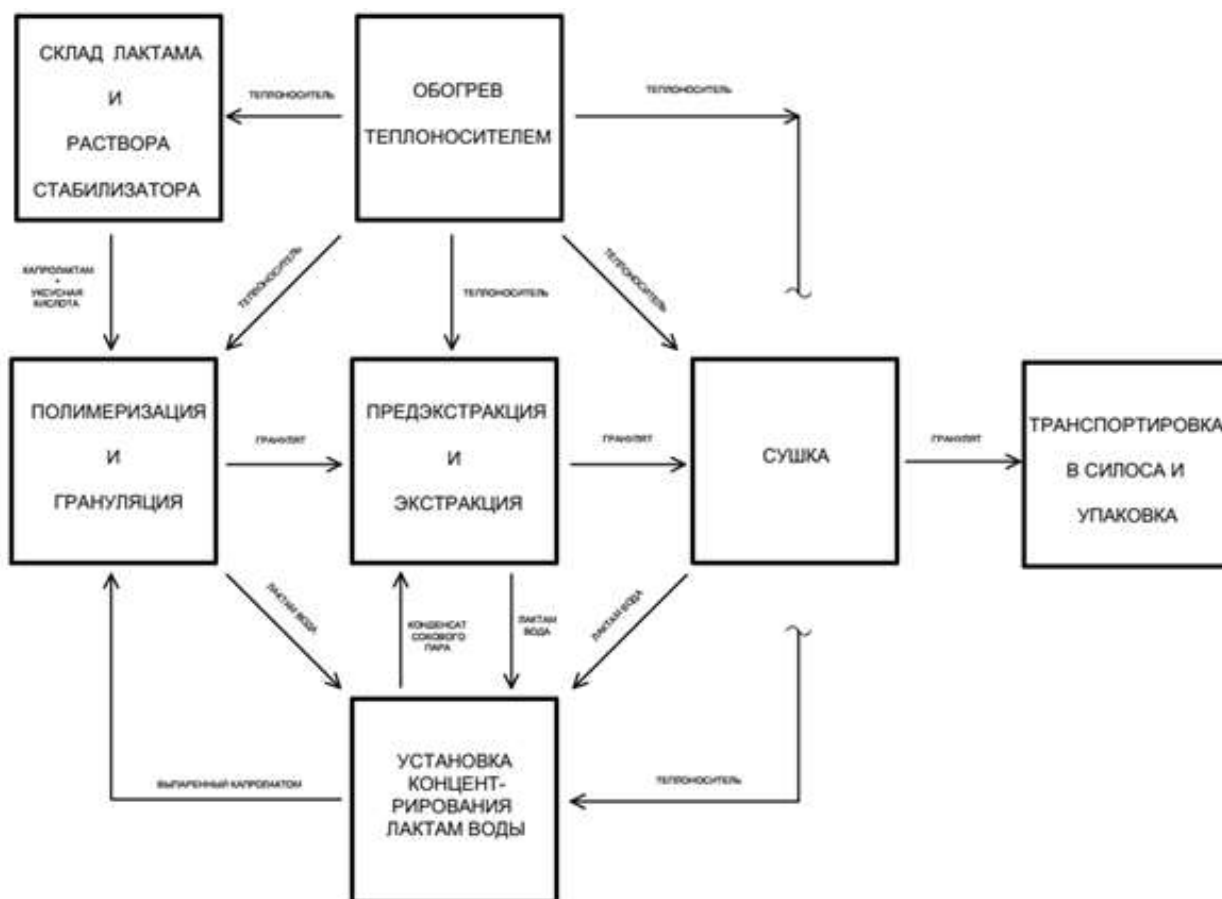


Рисунок 4 – Принципиальная схема производства

Процесс производства основан на синтезе полиамида-6 способом гидролитической полимеризации. Полученный полиамид проходит стадии грануляции, экстракции, сушки и упаковки. Лактамные воды, содержащие капролактam и низкомолекулярные соединения, подвергаются упариванию и вовлекаются в технологический процесс.

2.1.1 Узел приготовления и дозирования растворов

На первой ступени приготовления суспензии диоксида титана запускается циркуляция охлаждающей воды в емкости приготовления суспензии поз. В11003. Т.к. процесс циркуляции суспензии диоксида титана может привести к повышению температуры в рубашку емкости поз. В11003 предусмотрена подача обратной воды с температурой не выше +28 °С и контроль за температурой в емкости поз. В11003, которая измеряется в пределах от 0 до 50 °С.

После этого в емкости поз. В11003 запускается турбомешалка поз. АМ 11013.

Раствор лимонной кислоты 12 % (масс.) в количестве 5 литров добавляется в емкость поз. В11003 через заливной штуцер и гомогенизируется в течение 5 минут.

Биг-бег с диоксидом титана (TiO_2) при помощи грузоподъемного устройства (электроталь) ПТ-2 устанавливается на машину для смачивания порошка поз. Х11001 и соединяется с загрузочной зоной машины СМХ.

Порошок диоксид титана поступает в емкость поз. поз. В11003.

Также для приготовления суспензии в емкость приготовления суспензии поз. В11003 через регулирующий клапан поз. FCSV 11001 подается деминерализованная вода с расходом в количестве 1350 кг/ч.

Деминерализованная вода от коллектора подается через трехходовой клапан поз. YV 11003, который открывается при запуске программы приготовления суспензии диоксида титана с панели оператора. Предусмотрена подача деминерализованной воды в емкость приготовления раствора диоксида титана поз. В11005.

В машине поз. Х 11001 происходит интенсивное перемешивание и смачивание порошка TiO_2 в воде. Для лучшего протекания процесса перемешивания суспензии диоксида титана предусмотрена циркуляция по следующей схеме: машина поз. Х11001→емкость поз. В11003 → машина поз. Х11001.

Машина поз. Х11001 снабжена клапаном, который закрывается в автоматическом режиме сразу, как только происходит полное опорожнение биг-бега с диоксидом титана, предотвращая попадания воздуха в емкость поз. В11003. Засасывание воздуха в емкость поз. В11003 может привести к образованию пены в приготовленной суспензии диоксида титана.

После опорожнения биг-бега суспензия в течении 20 минут циркулирует по замкнутому контуру: машина поз. Х11001→емкость поз. В11003 → машина поз. Х11001. После этого переключается трехходовой

кран и машина СМХ поз. Х11001 перекачивает суспензию в ванну для отстаивания поз. В 11004.

Операция по приготовлению суспензии диоксида титана и его транспортировки в ванну поз. В11004 длится 3 - 3,5 часа.

Ванна для отстаивания поз. В11004 рассчитана таким образом, чтобы времени отстаивания (26 часов) было достаточно для удаления грубых частиц из суспензии. На время отстаивания суспензии ванна накрывается крышкой, чтобы посторонние частицы не попадали в суспензию.

В процессе отстаивания около 4 % (~20 кг) TiO_2 крупные частицы оседают и отделяются от суспензии.

Параллельно с отстаиванием суспензии диоксида титана в ванной поз. В11004 в емкости поз. В11005 осуществляется приготовление лактамной воды. Для этого 450 кг деминерализованной воды подается в позиции В11005.

При постоянном охлаждении двойной рубашки, в емкости позиции В11005 запускается турбо-мешалка поз. АМ 11015. Через расходомер поз. FICS 11002 и регулирующий клапан поз. FCSV 11002 капролактама подается в позиции В11005 в количестве 1550 кг. Емкость поз. В11005 снабжена датчиком температуры, которая не должна превышать 55 оС.

Такое разбавление имеет два важных преимущества:

- концентрация TiO_2 в суспензии понижается с 27% до 12,5 %, благодаря этому повышается точность дозирования;

- добавление капролактама в суспензию обеспечивает контакт лактама с диоксидом титана, после чего возникает основа– лактам/ TiO_2 , которая положительно влияет на распределение TiO_2 в ходе процесса полимеризации.

После приготовления лактам-воды в емкость поз. В11005 дозируется суспензия диоксида титана, с концентрацией 12-13 % диоксида титана, из ванны поз. В11004. Затем в емкости поз. В11005 происходит гомогенизация

диоксида титана, воды и лактама при помощи перемешивания мешалкой поз. АМ 11015.

Для предотвращения попадания кислорода воздуха из атмосферы в суспензию TiO_2 , от емкости поз. В11005 на линии выхода газовой фазы установлен гидрозатвор поз. В11010. После окончания процесса приготовления суспензии имеется возможность сброса газовой фазы из гидрозатвора в атмосферу.

Для непрерывного режима производства в ёмкости для хранения суспензии поз. В 11006 всегда должно находиться необходимое количество суспензии.

Готовая суспензия диоксида титана насосом поз. Р11005 направляется в расходную емкость поз. В11006.

Для предотвращения контакта готовой суспензии диоксида титана с воздухом предусмотрена подача азота в емкость поз. В11006. На линии подачи азота в емкость поз. В11006 установлен расходомер и регулирующий клапан прямого действия. При достижении минимального уровня в позиции В11006, предусмотрена дополнительная подача суспензии из ёмкости позиция В11005 насосом позиция Р11005.

Дозирование суспензии в реактор предполимеризации позиция С13200 осуществляется в трубопровод лактама непосредственно перед входом в реактор. Перед входом суспензии в трубопровод лактама суспензия (окончательно) фильтруется. Используемый для этого свечевой двойной фильтр поз. F11006А/В, имеет размер ячейки 1-5 микромметр, улавливает даже мельчайшие твердые частицы. Таким образом, исключается попадание загрязнений и крупных частиц диоксида титана в плав полимера.

Необходимое количество готовой суспензии подается в соотношении к расходу капролактама при помощи ЧРП насоса позиция Р11006. Соотношение капролактама к диоксиду титана составляет 2827: 8,1 кг/ч (349:1), соответственно.

В коротком отрезке трубы после места ввода суспензии TiO₂ в предварительный полимеризатор позиция C13200 находится статический смеситель позиция B13221, который обеспечивает необходимое перемешивание лактама и суспензии TiO₂ перед вводом в реактор предварительной полимеризации.

Дозирующий мембранно–поршневой насос поз. P11006, рассчитан на необходимое высокое давление и гарантирует точное дозирование на предполимеризацию.

Для предотвращения попадания кислорода воздуха из атмосферы в готовую суспензию TiO₂, от расходной емкости поз. B11006 на линии выхода газовой фазы установлен гидрозатвор поз. B11011. После окончания процесса приготовления суспензии имеется возможность сброса газовой фазы из гидрозатвора в атмосферу.

2.1.2 Склад капролактама

Исходное сырьё, жидкий капролактама, поступает из цеха №24 корп.710 по двум трубопроводам, один из которых резервный, обогреваемым горячей водой, на склад капролактама - технологический участок TY120, через расходомер.

Жидкий капролактама поступает в сборники поз. B12010A/B, через обогреваемые горячей водой отсекатели позиция YV 120Y02 (поз. B12010A) и поз. YV 120Y06 (поз. B12010B).

Обогрев емкостей поз. B12010A/B, осуществляется горячей водой с температурой 75÷95 °С, циркулирующей в наружном змеевике.

Сборники капролактама находятся под избыточным давлением (0,015 – 0,028 бар (изб.) и имеют воздушники с разрывными мембранами. В случае увеличения давления в сборнике происходит разрыв мембранного диска со сбросом давления в атмосферу по трубопроводу, обогреваемому горячей водой. Во избежание контакта капролактама с кислородом воздуха и обеспечения безопасности процесса в сборниках предусмотрено «азотное дыхание».

Для исключения застывания капролактама в опусках, в случае его уноса из сборников, предусмотрен их обогрев горячей водой.

Для поддержания постоянного уровня в гидрозатворе и исключения попадания воды в сборники позиция В12010А/В, предусмотрена переливная утка. На каждой рубашке обогрева трубопроводов предусмотрены расширительные бачки для их развоздушивания. Выдача жидкого капролактама из сборников на стадию полимеризации осуществляется насосами позиция Р12020А/В, по трубопроводу, обогреваемому горячей водой.

В случае остановки работающего насоса производится самозапуск резервного. На нагнетании каждого насоса позиция Р12020А/В, установлены обратные клапаны, которые в случае остановки насоса исключают обратное движение капролактама.

Капролактама по обогреваемому горячей водой трубопроводу от насосов позиция Р12020А/В, подаётся на фильтры очистки капролактама от механических примесей позиция F12020А/В (через трехходовой вентиль, обогреваемый горячей водой). При ведении технологического процесса в работе находится только один фильтр, второй в резерве. Для предотвращения замерзания капролактама в фильтрах предусмотрен обогрев горячей водой через рубашку.

Для освобождения трубопроводов и фильтров от капролактама, а также для продувки и пропаривания предусмотрены дренажные вентили. При проведении пусковых операций для «развоздушивания» фильтров поз. F12020А/В предусмотрены шаровые краны на крышках фильтров. Схемой предусмотрен циркуляционный трубопровод после фильтров на случай проведения ремонтных работ или замены оборудования на стадии полимеризации.

На время проведения пусконаладочных работ от насосов поз. Р12020А/В, предусмотрен трубопровод возврата капролактама в цех №24 в корп.710, который обогревается горячей водой.

Все оборудование и трубопроводы на складе капролактама ТУ120 и часть оборудования на стадии полимеризации ТУ130 обогревается горячей водой. Для обеспечения технологических участков горячей водой предусмотрен узел приготовления горячей воды, в качестве которой используется деминерализованная вода. На трубопроводе заполнения емкости поз. В12030 установлены обратные клапаны для исключения движения воды обратным ходом.

Подогрев воды до температуры $75\div 95$ °С осуществляется по следующей схеме: деминерализованная горячая обратная вода с обратной гребёнки поступает в емкость поз. В12030, откуда через фильтр очистки от механических примесей поступает на всас насоса поз. Р12030 А/В.

Горячая вода с нагнетания насосов поз. Р12030А/В, проходит теплообменник поз. W12030, где она подогревается до температуры $80\div 95$ оС и поступает на прямую распределительную гребенку. Подогрев воды в теплообменнике производится паром низкого давления 5 бар (изб).

После прохождения горячей воды через рубашки обогрева оборудования и трубопроводов обратная горячая вода поступает на обратную распределительную гребенку.

Для поддержания постоянного давления в трубопроводах обогрева установлены расходные шайбы.

Для освобождения от воды прямой и обратной гребенок на каждой гребенке предусмотрены дренажные вентили.

2.1.3 Приготовление компонентов и полимеризация

Технологическая схема данного участка приведена в приложении А

Капролактамы после предварительной очистки от механических примесей после фильтров позиция F12020А/В, по трубопроводу, обогреваемому горячей водой, через регулирующий клапан позиция СL 130С50, поступает в сборник капролактама позиция В13050, обогреваемую горячей водой через наружный змеевик.

В этот же трубопровод перед клапаном позиция CL 130C50 от расходных емкостей позиция B11008 (ADY), позиция B11009(ADX) дозируются добавки растворов ADX и ADY насосами позиция P11008, P11009, соответственно. Далее через смесительную камеру позиция B13111 капролактама и растворы добавок поступают в сборник лактама позиция B13050.

Для исключения контакта лактама с кислородом воздуха предусмотрена подача в емкость позиция B13050 азота, азот подается через регулирующий клапан позиция CP 130C52. Давление азота в емкости позиция B13050 поддерживается $0,2 \div 0,3$ бар(изб) гидрозатвором позиция B13055, который соединен со сборником позиция B13050 по трубопроводу азотного дыхания, обогреваемому горячей водой.

Трубопровод «дыхания» емкости поз. B13050 в гидрозатвор поз. B13055 смонтирован с опуском под слой лактамной воды от насосов поз. P18130/130R. Лактамная вода из гидрозатвора по переливу через смотровой фонарь поступает самотёком в ёмкость поз. B18110. Выход газовой фазы из гидрозатвора поз. B13055 осуществляется в атмосферу.

Выдача капролактама и раствора добавок на участок полимеризации осуществляется насосами поз. P13051/52, один из которых резервный, по обогреваемому горячей водой трубопроводу через трехходовой вентиль, который предназначен для слива капролактама из сборника поз. B13050, а также при необходимости работы стадии полимеризации с исключением емкости поз. B13050. В самой нижней точке трубопровода, до трехходового вентиля, предусмотрен дренажный вентиль для освобождения трубопровода и аппарата от продукта и продувки азотом емкости поз. B13050.

Капролактама и раствор добавок с нагнетания насосов поз. P13051/52 с давлением 10 - 14 бар(изб.), по обогреваемому трубопроводу через трехходовой вентиль подается на фильтры тонкой очистки поз. F13051/52. В работе постоянно находится только один фильтр. Пройдя через фильтр через

трехходовой вентиль направляется на участок полимеризации в подогреватель капролактама поз. W13250.

Для гомогенизации (циркуляции) лактама, а также для возможности проведения работ на стадии полимеризации с прекращением выдачи лактама, предусмотрен трубопровод, обогреваемый горячей водой, от общей линии нагнетания насосов поз. P13051/52 в емкость поз. B13050.

В случае уменьшения приема капролактама на стадию полимеризации или при засорении фильтров происходит увеличение давления в трубопроводе нагнетания и автоматическое открытие клапана поз. CP 130P51, в случае увеличения приема капролактама на стадию полимеризации клапан закрывается.

Из емкости поз. B13050 после очистки от механических примесей в фильтрах поз. F13051/52 капролактама и раствор добавок поступает через теплообменник поз. W13250 и смеситель поз. B13221 в предварительный полимеризатор поз. C13200. Подогрев в теплообменнике поз. W13250 до температуры 220÷250 оС производится теплоносителем паровым динилом. Регулирование расхода капролактама с раствором добавок в предварительном полимеризаторе поз. C13200 осуществляется через регулирующий клапан поз. CL 132C05.

Необходимое количество воды 200÷550 кг/час, для начала реакции полимеризации подается вместе с регенерированным капролактамом со стадии ГУ180 в деполимеризатора поз. C13100 и далее в предварительный полимеризатор поз. C13200.

В предварительном полимеризаторе поз. C13200 при температуре 245÷280 оС происходит реакция полимеризации. Для обеспечения заданной температуры в реакторе используется для обогрева теплоноситель – динил, циркулирующий в рубашке обогрева.

Прием капролактама с раствором добавок в предварительный полимеризатор поз. C13200 осуществляется по трубопроводу, обогреваемому динилом.

Гидрозатвор поз. В13270 заполняется раствором лактамной воды от насоса поз. Р18130/130R и по переливу, через смотровой фонарь, лактамная вода возвращается самотеком в сборник лактамной воды поз. В18110.

При работе гидрозатвора поз. В13270 происходит постоянное испарение затворной жидкости, пары которой по трубопроводу поступают в холодильник поз. W13280, охлаждаемый оборотной водой. Сконденсировавшаяся вода стекает в гидрозатвор поз. В13270, а не сконденсировавшиеся пары сбрасываются в атмосферу.

Во время протекания реакции в предварительном полимеризаторе поз. С13200 испарившаяся вода и незначительная часть капролактама поступает в дефлегматор поз. К13230, где происходит разделение жидкой и газообразной фаз. Жидкая фаза из дефлегматора стекает обратно в предварительный полимеризатор поз. С13200, а газовая фаза из верхней части аппарата через регулирующий клапан поз. СР 132С04 поступает в гидрозатвор поз. В13270. Охлаждение верхней части дефлегматора поз. К13230 осуществляется горячей водой, температура на выходе из дефлегматора поддерживается в пределах 110÷145 °С. Регулирование температуры производится регулирующим клапаном поз. СТ 132С07 на трубопроводе подачи охлаждающей воды.

Перед поступлением деминерализованной воды на стадию, поток воды разделяется на два потока. Один поток подогревается в подогревателе поз. W13231 паром до температуры 70 - 105 оС. Регулирование температуры осуществляется регулирующим клапаном СТ 132С09, установленным на трубопроводе подачи пара в подогреватель поз. W13231. Подогретая вода в подогревателе поз. W13231 подается на обогрев стадий ТУ 180, ТУ 110.

Деминерализованная вода, предназначенная для охлаждения дефлегматора поз.К13230, из емкости поз. В13230 насосом поз. Р13230 через холодильник поз. W13232, охлаждаемый оборотной водой, направляется на дефлегматор с возвратом в емкость поз. В13230. Из емкости поз. В13230

горячая вода поступает на всас насоса поз. P13230 и с давлением не менее 5 бар(изб).

Расплав ПА насосом поз. P13240 с давлением не более 30 бар(изб) по обогреваемому динилом трубопроводу через обогреваемый динилом регулирующий клапан поз.132C02 подается в полимеризатор поз. C13300.

Расплав ПА с нагнетания насоса поз. P13240 поступает в реактор поз. C13300 по обогреваемому динилом трубопроводу.

Процесс поликонденсации в аппарате поз. C13300 проводится при температуре $245 \div 280$ °С и уровне $20 \div 500$ мм. Регулирование уровня в реакторе поз. C13300 осуществляется изменением числа оборотов электропривода насоса поз. P13240.

Температурный режим аппарата поз. C13300 обеспечивается циркулирующим в рубашке обогрева теплоносителем - динилом.

Процесс поликонденсации проводится при давлении $0,02 \div 0,06$ бар (изб). Давление в реакторе поддерживается при помощи гидрозатвора поз. B13710, через дефлегматор поз. K13300. Для исключения контакта расплава ПА с кислородом воздуха, а также для безопасности процесса и для удаления излишней влаги в реактор поз. C13300 подается азот в общем количестве $1 \div 2$ м³/ч.

Газовая фаза из реактора поз. C13300 через промывную колонну поз. K13300 поступает в теплообменник поз. W13300, далее в гидрозатвор поз. B13710.

Теплообменник поз. W13300 кожухотрубный, в межтрубном пространстве охлаждается газовая фаза, в трубном циркулирует вода охлаждения (ВОЦ-11) с температурой $18 - 27$ °С.

Расплав ПА из нижней части реактора поз. C13300 через обогреваемые динилом трубопровод и задвижки поступает на всас насосов поз. P13540, поз. P13640. С нагнетания насоса поз. P13540 по обогреваемому динилом трубопроводу расплав полимера подается на стадию гранулирования,

выполненную в две линии, ТУ140/1 (1 линия), а с нагнетания насоса поз. Р13640 подается на стадию гранулирования ТУ140/2 (2 линия).

Расплав ПА с нагнетания насоса поз. Р13540 по обогреваемому динилом трубопроводу поступает на технологический участок.

Расплав ПА с нагнетания насоса поз. Р13640 по обогреваемому динилом трубопроводу поступает на технологический участок ТУ140/2.

Все расплавопроводы и аппараты на участке полимеризации обогреваются динилом, который подается с технологической стадии. Для контроля обогрева аппаратов и трубопроводов на участке полимеризации, обогреваемым динилом, на каждом выходящем трубопроводе предусмотрен прибор контроля за температурой. Трубопроводы азотного дыхания и дренажные трубопроводы с гидрозатворов обогреваются пароспутниками. Для освобождения трубопроводов от продукта предусмотрены дренажные вентили и вентили для продувки трубопроводов и аппаратов азотом

2.1.4 Гранулирование

Стадия гранулирования полиамида-6 состоит из двух технологических линий, на которые поступает расплав полиамида со стадии полимеризации ТУ130 двумя технологическими потоками. После поликонденсатора поз. С13300 часть расплава ПА насосом поз. Р13540 направляется на линию «1» стадии гранулирования, ТУ140/1; другая часть расплава полиамида насосом поз. Р13640 поступает на линию «2» стадии гранулирования.

Расплав ПА со стадии полимеризации насосами поз. Р13540 и поз. Р13640 по трубопроводам, обогреваемым динилом, подается на фильтры плава поз. F14140/F14141 с температурой 245-285°C и с давлением 60÷240 бар (изб), которые предназначены для фильтрования расплава полиамида от возможных примесей.

Фильтры плава поз. F14140/F14141 по конструкции представляют собой фильтр постоянного действия, один несущий цилиндр со встроенным узлом сита. Таким образом, имеется возможность заменять узел сита сбоку от агрегата. Ситообменник непрерывного действия оснащают двумя

несущими цилиндрами, что позволяет менять сита по отдельности, без остановки производственного процесса.

Отфильтрованный расплав ПА поступает на гидравлическую отводную задвижку (пусковой клапан) поз А14120/А14121.

Переключение пускового клапана поз. А14120/А14121 осуществляется при помощи поршневого привода, который приводится в движение гидравлическим агрегатом поз. Р14110/Р14111.

Для исключения застывания расплава ПА в пусковом клапане предусмотрен электрический обогрев.

При открытии пускового клапана расплав ПА поступает в камеру нарезки гранулята поз. Z14110/Z14111 через литьевую фильеру поз ZX14110/ZX14111, представляющую собой металлическую перфорированную плиту с отверстиями, диаметр которых выбирается в зависимости от регламентированного размера гранул и составляет 2,1 – 2,4 мм. Фильера обогревается жидким динилом, температура теплоносителя 240оС. В камере нарезки расплав ПА срезается ножевой головкой, омываемой транспортировочной водой, имеющей свой циркуляционный контур на стадии гранулирования. Ножевая головка приводится в движение электроприводом гранулятора поз. ZM14110/ZM14120.

Гранулят из резательной камеры поз. Z14110/Z14111 при помощи воды направляется на центробежную центрифугу поз. T14140/141 через сепаратор агломерата поз. F14140/F14141, где происходит отделение крупных частей (оплавлений). При достижении максимального уровня автоматически происходит выгрузка агломерата в бункер под сепаратором поз. F14140/F14141. Из бункера периодически выгружается в сборник и является сырьем полимерным.

После отделения на сепараторе агломерата поз. F14140/F14141 гранулят при помощи транспортировочной водой направляется в центробежную центрифугу поз. T14140/T14141. В центробежной центрифуге происходит отделение гранулята от воды. Отделенный от воды грану-лят ПА

через трехходовой клапан направляется на вибросито поз. F14150. Первая порция гранулята полиамида из центробежной центрифуги поз. T14140/T14141 в течении 2-х первых минут после пуска гранулирования поступает в бункер некондиции, затем с помощью трехходового клапана поз. K14140/K14141 кондиционный гранулят переводится на вибросито поз. F14150/F14151. На вибросите происходит дополнительное отделение непрорубленных гранул ПА (вибросито имеет два электрических привода). После разделения на вибросите, кондиционный гранулят направляется на стадию экстрагирования.

Вода из центробежной центрифуги поз. T14140/T14141 с содержанием полиамида пыли (образовавшейся при гранулировании) поступает в емкость поз. B14130/B14131. Емкость разделена пере-точными перегородками на три секции. Вода поступает в первую из трех секций емкости, где происходит отстаивание полиамидной пыли. После отстаивания, вода через верхний край перегородки поступает во вторую секцию емкости.

Вода из третьей секции насосом поз. P14130/ P14131 через теплообменник поз. W14130/W14131, который охлаждается оборотной водой, подается в гранулятор поз. Z14110/Z1411.

Вода из нижней части второй секции емкости поз. B14130/ B14131 поступает на всас насоса поз. P14132/ P14133, с нагнетания которого вода подается на свечной фильтр обратной промывки поз. F14130/ F14131. Очистка воды на фильтре происходит за счет фильтрующего материала с определенным размером ячейки материала. Фильтр обратной промывки периодически очищается при повышении разности давлений на входе и на выходе из фильтра. Давление воды регулируется клапаном поз. PVK 141P14/142P14, установленном после фильтра обратной промывки. Схемой предусмотрена работа по байпасу мимо фильтра обратной промывки.

Очищенная вода из верхней части фильтра обратной промывки поз. F14130/F14131 направляется в емкость поз. B14130/B14131. В случае засорения фильтрующего элемента фильтра обратной промывки и

невозможности выдачи очищенной воды в емкость поз. В14130/В14131 производится открытие регулируемой задвижки поз. НVMК 141Н11/142Н11 и очистка фильтра «вручную».

Вода с примесями полиамидной пыли из нижней части фильтра поз. F14130/F14131 подается в буфер поз. В14132/В14133, Вода из буфера по трубопроводу перелива поступает во вращающийся ленточный фильтр поз. F14132/F14133, где осуществляется фильтрация примесей от воды. При достижении максимального уровня примесей в буфере через задвижку, открываемую вручную, производится выгрузка примесей из ленточного фильтра.

Очищенная от примесей вода поступает через сборную емкость из фильтра насосом поз. P14134/P14135 в среднюю часть емкости воды поз. В14130/В14131. По мере накопления воды в сборной емкости ленточного фильтра по прибору поз. LS 141L07/142L07 происходит автоматическое включение и отключение насоса поз. P14134/P14135 по минимальному и максимальному уровню в емкости.

Для подпитки емкости поз. В14130/В14131 используется деминерализованная вода или КСП, поступающая в нижнюю часть третьей секции. По мере возрастания уровня в третьей секции емкости поз. В14130/В14131 происходит, перелив воды через верхнюю кромку перегородки в среднюю (вторую) секцию емкости поз. В14130/В14131. Из второй секции вода через верхнюю кромку перетекает в первую секцию, где и производится разбавление воды, поступающей от центробежной центрифуги поз. T14140/T14141.

2.1.5 Экстрагирование

В результате реакции полимеризации имеет место образование низкомолекулярных соединений, содержание которых в полимерном расплаве составляет около 10 % от общей массы. Низкомолекулярные соединения состоят из мономера – капролактама, димеров, тримеров и т.д. и яв-ляются примесью в полимере. Гранулят поступает на стадию

экстрагирования по двум трубопроводам с соответствующих линий стадии гранулирования («1» и «2»). Технологические линии стадии экстрагирования гранулята идентичны по оборудованию, оформлению технологической схемы и по системе КИПиА.

Процесс экстрагирования предназначен для удаления низкомолекулярных соединений из гранулята методом обработки его горячей водой. Для экстрагирования используется деминерализованная, дегазированная вода, чтобы исключить возможность загрязнения и окисления полиамида. Процесс экстрагирования ускоряется с повышением температуры, увеличением соотношения между количеством воды и гранулята. Чем интенсивнее перемешивание и больше скорость движения воды между гранулятом, тем быстрее и полнее происходит экстрагирование. Чем ниже содержание НМС в экстрагируемой воде, тем больше ее экстрагирующая способность.

Со стадии гранулирования от вибросита поз. F14150/F14151 гранулят поступает в сборник гранулята поз. B15101/B15102 по трубопроводу.

В конусную часть сборника поз. B15101/B15102 подается предварительно нагретая выше 95°C лактам вода из сборника поз. B18110 насосом поз. P18130/P18130R. Разогрев воды до заданных значений производится перегретым водяным паром (SL) в теплообменнике поз. W15101/W15102. Образовавшийся избыток экстракционной воды отводится с верхней части сборника поз. B15101/15102 через перелив емкость поз. B18110. Для исключения уноса гранулята по линии перелива внутри сборника поз. B15101/15102 установлен щелевой фильтр, так же в сборник поз. B15101/15102 предусмотрена подача деминерализованной воды (на период пуска и для подпитки системы). Гранулят находится в сборнике под слоем воды.

Гранулят транспортируется водой из сборника поз. B15101/15102 в экстрактор поз. K15001/15002 с помощью контура транспортировочной воды по схеме: экстрактор поз. K15001/15002 → насос поз. P15101/15102 → фильтр

поз. F15101/15102→жидкоструйный насос (эжектор) поз. P15111/15112→экстрактор поз. K15001/15002.

Транспортировочная вода с нагнетания насоса поз. P15101/15102 с давлением не более 18 бар(изб), через фильтр поз. F15101/15102 поступает к жидкоструйному насосу поз. P15111/15112, где смешивается с гранулятом, поступающим из емкости поз. B15101/15102, и с давлением не более 15 бар (изб) поступает в экстрактор поз. K15001/15002.

В верхней части экстрактора поз. K15001/15002 установлен ситчатый стакан, конусная часть которого жёстко закреплена на неподвижной плите. Вода постоянно через ячейки ситчатого стакана поступает в отделённую плитой верхнюю часть экстрактора и далее в трубопровод на всас насоса поз. P15101/15102. Гранулят из конуса сетчатого стакана поступает на встроенные тарелки в верхней части экстрактора и по тарелкам в слое воды проходит в нижнюю часть экстрактора.

Из верхней части экстрактора поз. K15001/15002 производится постоянная выдача концентрированной лактамной воды через регулирующий клапан поз. LCSV 150Y04/150Y54 в сборник поз. B15101/15102.

В экстракторе поз. K 15001/15002 процесс экстрагирования проходит при температуре не менее 95°C. Для поддержания этой температуры и постоянного движения воды для улучшения процесса экстракции (движение противотоком) предназначен циркуляционный контур.

Экстракционная вода поступает со стадии регенерации от насоса поз. P18720/18720R через теплообменник поз. W15011/15012, где происходит, нагрев воды в теплообменнике до температуры 95-135°C. Нагрев экстракционной воды осуществляется паром низкого давления с температурой 185°C и 6 кгс/см² (изб).

Гранулят из нижней части экстрактора поз. K 15001/15002 по трубопроводу подаётся к жидкоструйному насосу поз. P15221/P15222. От насоса поз. P15221/P15222 гранулят в токе воды подается к центрифуге поз.

S16101/S16102 стадии сушки. Транспортировка гранулята осуществляется циркуляционным контуром транспортировочной воды.

Вода из центрифуги поз. S16101/S16102 поступает в сборник поз. B15201/B15202. Сборник внутри разделён перегородкой на две секции. С водой от центрифуги в первую секцию сборника попадают примеси (мелкие частицы гранулята). Очистка воды от этих примесей осуществляется в циркуляционном контуре с применением фильтра поз. F15201/15202. Очищенная вода после фильтра поступает во вторую секцию сборника поз. B15201/15202, откуда выдаётся в качестве транспортировочной воды к насосу поз. P15201/15202.

Вода из первой секции сборника поз. B15201/15202 поступает на всас насоса поз. P15211/15212. Уровень воды в этой секции сборника регулируется изменением числа оборотов электропривода насоса поз. P15211/15212. Для исключения движения жидкости обратным ходом на трубопроводе нагнетания насоса предусмотрен обратный клапан.

Для предотвращения окисления гранулята, исключения контакта гранулята с кислородом воздуха в экстрактор поз. K15001/15002 производится подача чистого азота с расходом со сбросом его через сборник воды поз. B15201/15202 в гидрозатвор поз. B15211/15212 и далее в атмосферу.

Из экстрактора поз. K15001/15002 производится постоянный сброс азота в сборник воды поз. B15201/15202. Регулирование осуществляется регулирующим клапаном поз. CF 150C02/150C52. Давление в сборнике воды поз. B15201/15202 поддерживается гидрозатвором поз. B15211/15212, соединённым со сборником поз. B15201/15202 трубопроводом азотного дыхания. Гидрозатвор заполнен деминерализованной водой до определенного уровня. Сброс газовой фазы из гидрозатвора поз. B15201/15202 осуществляется в атмосферу.

2.1.6 Сушка гранулята полиамида

Стадия сушки состоит из двух технологических линий, которые предназначены для сушки гранулята полиамида ПА 6. Гранулят поступает на стадию сушки (линия «1» или «2») соответственно по двум трубопроводам с соответствующих линий стадии экстрагирования («1» или «2»).

Технологические линии стадии сушки гранулята идентичны по оборудованию, оформлению технологической схемы и по системе КИПиА.

Гранулят с водой со стадии экстрагирования насосом поз. P15221/15222 подается в центрифугу поз. S16101/16102, где происходит отделение воды от гранулята, вода по трубопроводу возвращается на стадию экстрагирования в сборник воды поз. B15201/15202. Гранулят из центрифуги поступает в колонну сушилки поз. K16101/16102 для удаления из него влаги.

Приём гранулята на сушку осуществляется в предварительно нагретую колонну сушилки поз. K16101/16102 с засыпанным в зону охлаждения сухим гранулятом. Сушка гранулята производится в среде горячего азота, который подаётся в первую и вторую зоны сушилки. В первой зоне сушилки удаляется преимущественно поверхностная влага, а во второй зоне – удаляется внутренняя влага. Гранулят в сушилке проходит сверху вниз до охладителя, расположенного в нижней части сушилки. Противотоком снизу-вверх подается горячий азот, который сушит гранулят и предотвращает окисление гранулята кислородом воздуха.

Азот забирается с верхней части сушилки поз. K16101/16102 и делится на два подогреваемых контура.

Верхний контур подогрева: сушилка поз. K16101/16102 сепаратор поз. B16111/16112 теплообменник азота поз. W16311/16312 газодувка азота поз. V16111/16112 подогреватель азота поз. W16111/16112 сушилка поз. K16101/16102.

Нижний контур подогрева: сушилка поз. K16101/16102 сепаратор поз. B16111/16112 охлаждающая колонна поз. W16301/16302 теплообменник азота поз. W16311/16312 газодувка азота поз. V16121/16122 устройство

(реактор с катализатором) связывания азота поз. С16501/16502 подогреватель азота поз. W16121/16122 сушилка поз. K16101/16102.

Азот из сушилки поз. K16101/16102 поступает в сепаратор поз. B16111/16112, где происходит отделение азота от влаги и полиамидной пыли. Для смыва пыли в сепаратор поз. B16111/16112 по тангенциальному вводу подаётся технологическая вода со стадии сушки с расходом не более 1 м³/ч от насоса поз. P16411/16412. Вода вместе с ПА пылью сливается в нижнюю часть сепаратора, а азот, отделившийся от воды, поднимается в верхнюю часть аппарата. Из нижней части сепаратора поз. B16111/16112 вода самотеком поступает в кубовую охлаждающей колонны поз. W16301/16302.

Азот, поступающий в верхний подогревательный контур, проходит трубное пространство теплообменника азота поз. W16311/16312, где охлаждается азотом, поступающим из охлаждающей колонны поз. W16301/16302 в межтрубное пространство теплообменника. Сконденсировавшаяся из азота влага из теплообменника поз. W16311/16312 сливается в гидрозатвор поз. B16401/16402, а азот, отделившийся от влаги, поступает на всас газодувки поз. V16111/16112.

В подогревателе поз. W16111/16112 паром низкого давления 5 бар(изб) происходит, подогрев азота до температуры 105 - 145 оС. Регулирование температуры осуществляется регулирующим клапаном поз. СТ 161C01/161C51, установленным на трубопроводе подачи пара в подогреватель. Подогретый азот после подогревателя поз. W16111/16112 подаётся в верхнюю часть сушилки, проходит снизу-вверх по этой части сушилки, высушивая гранулят, и снова поступает в сепаратор поз. B16111/16112. Цикл верхнего подогревательного контура замыкается и повторяется вновь по описанной выше схеме.

Нижний подогревательный контур. Азот из сепаратора поз. B16111/16112 подается в нижнюю часть колонны орошения поз. W16301/16302 под слой насадки. Сверху насадка орошается технологической

водой циркуляционного контура охлаждающей колонны. Орошение производится через распылитель, создающий мелкодисперсное распыление.

Циркуляционный контур технологической воды для орошения азота состоит из: охлаждающая колонна поз. W16301/16302 насос поз. P16411/16412 фильтр поз. F16421/16422 охладитель технологической воды поз. W16321/16322 охлаждающая колонна поз. W16301/16302.

Охлаждающая колонна имеет насадочную часть и сепарационную. Технологическая вода поступает в колонну на верх насадки под сепарационную часть аппарата.

Азот в охлаждающей колонне поз. W16301/16302 движется снизу-вверх через слой насадки, охлаждаясь и очищаясь от пыли гранулята технологической водой, которая проходит через насадку сверху вниз и стекает в нижнюю часть колонны, затем с температурой не более 50 °С, поступает на всас насоса поз. P16411/16412.

Вода технологическая в охладителе поз. W16321/16322 охлаждается захлажденной водой до температуры не более 30°C и поступает в охлаждающую колонну поз. W16301/16302.

Азот из колонны поз. W16301/16302, пройдя сепарационную часть, с температурой 10÷18 °С подаётся в теплообменник азота поз. W16311/16312, в котором охлаждает азот верхнего подогревательного контура для конденсации и удаления влаги и поступает на всас газодувки поз. V16121/16122.

Колонна сушки поз. K16101/16102 представляет собой вертикальный аппарат, в который сверху из центрифуги поступает гранулят и движется сверху вниз противотоком движущемуся вверх горячему азоту с температурой 105 - 145 °С. Процесс сушки производится при давлении в сушилке 0,1 - 0,6 бар(изб).

Осушенный гранулят полиамида перед поступлением в ёмкости гранулята поз. B16211/16221 и поз. B16212/222 охлаждается в охладителе сушилки поз. K16101/16102 оборотной водой до температуры 40÷70 °С,

Оборотная охлаждающая вода из ВОЦ-11 с температурой не более 28°C поз. Т1 161Т04/161Т54 подаётся по двум вводам в охладитель сушилки поз. К16101/16102, который находится в нижней части аппарата. Обратная оборотная охлаждающая вода из охладителя сушилки с температурой не более 36°C возвращается в ВОЦ-11.

Охлаждённый гранулят с температурой 40 - 70°C из сушилки поз. К16101/16102 подаётся в сборники гранулята поз. В16211/16221 и В16212/16222 через переключатель YV 162Y05/162Y55.

Из сборников гранулята поз. В16211/16221 и поз. В16212/16222 кондиционный гранулят полиамида-6 в среде азота выдаётся по двум трубопроводам на стадию транспортировки, хранения и расфасовки гранулята ТУ230.

Для исключения контакта гранулята с кислородом воздуха, что приводит к его окислению, а также для обеспечения транспортировки гранулята на стадию ТУ230, в трубопровод выдачи гранулята из емкости поз. В16211/16221 и поз. В16212/16222 подаётся чистый азот с давлением в пределах 0,2÷1,9 бар(изб) поз. Чистый азот поступает непосредственно в трубопровод гранулята на выходе из емкости поз. В16211/16221 и поз. В16212/16222, пройдя через эту емкость снизу-вверх, выбрасывается в атмосферу при определенном положении клапанов, поддерживая давление (изб) 0,3÷1,7 бар в емкости поз. В16211/16221 и поз. В16212/16222.

2.1.7 Установка выпаривания лактамной воды

Экстракционные воды с концентрацией низкомолекулярных соединений 18÷26%, поступают на стадию выпаривания лактамной воды ТУ 180. Назначение установки заключается в концентрировании раствора низкомолекулярных соединений до 75÷95%, с целью возврата на стадию полимеризации ТУ 130. Выпариваемая на установке вода, с остаточным содержанием низкомолекулярных соединений (НМС) не более 0,2% возвращается в технологический процесс на стадию экстракции.

Установка состоит из четырех ступеней выпаривания и конденсатора, процесс выпарки происходит под вакуумом.

В сборнике поз. В18110 собирается вода, содержащая лактам и низкомолекулярные соединения (НМС) после: предэкстракторов поз. В15101, В15102, сборников транспортировочной воды стадии гранулирования поз. В14130 и В14131, гидрозатворов поз. В13055, В13055/1, В13270, В13710, охлаждающих колон поз. W16301, W16302.

Сборник поз. В 18110 объемом 62м³ имеет встроенный трубный змеевик, по которому подается горячая вода температурой 90 °С, для предотвращения высаждения олигомеров на внутренней поверхности емкости. В сборник поз. В18110, для стабилизации олигомеров в растворе, насосом поз. P12020A/B подается свежий капролактam расходом 0,4÷0,6 м³/ч, регулировка количества подаваемого раствора клапаном поз. FCSV 181C02.

Для того чтобы исключить контакт лактамной воды с кислородом воздуха, в сборник поз. В18110 подается азот через клапан поз. YV 181Y01 с расходом не более 1,5 м³/ч. Давление в сборнике поз. В18110 поддерживается гидрозатвором поз. В18150 имеющим затворную жидкость (деминерализованная вода) и опуском.

Из сборника поз. В18110 вода содержащая лактам и НМС с концентрацией 18 – 26 % подается на всас центробежного насоса поз. P18130/130R.

Вода содержащая лактам и НМС с расходом 0 - 6,5 м³, подается в верхнюю часть испарителя третьей ступени поз. W18530, который представляет собой вертикально установленный аппарат цилиндрической формы, по трубному пространству которого подается продукт, а по межтрубному теплоноситель – конденсат сокового пара (КСП). В верхней части испарителя расположен трубный змеевик, используемый для дополнительного подогрева продукта; в нижней части находится зона сброса жидкостно-паровой фазы в сепаратор поз. В18530. Контролировать процесс

визуально позволяет смотровое стекло, установленное в нижней части аппарата. Греющий пар в межтрубное пространство испарителя поз. W18540 подается от сепаратора поз. B18530. Конденсат сокового пара из межтрубного пространства испарителя поз. W18530 выдается в межтрубное пространство испарителя поз. W18540.

При температуре 50 - 90 °С и давлении 0,1÷1,0 бар (изб.) греющего пара в испарителе поз. W18530 происходит сброс парожидкостной фазы в центробежный сепаратор поз. B18530, в котором, так же, как и в испарителе поз. W18530 имеется возможность визуального контроля процесса при помощи смотрового окна. В сепараторе поз. B18530 пар отделяется от жидкой фазы и поступает в межтрубное пространство испарителя поз. W18540 для обогрева четвертой ступени выпарки. Кубовый остаток из сепаратора поз. B18530 поступает на всас насоса поз. P18540 выдачи продукта от третьей ступени.

С нагнетания центробежного насоса поз. P18540 раствор олигомеров поступает в верхнюю часть испарителя поз. W18540 по его трубному пространству. Поток нагревается паром от сепаратора поз. B18530 третьей ступени, подающимся по межтрубному пространству испарителя поз. W18540. В испарителе поз. W18540, при температуре 40 - 80 °С и давлении 0,1 - 1,0 бар (изб.) происходит сброс парожидкостной фазы в сепаратор поз. B18540.

Выдача конденсата, греющего пара от испарителя поз. W18540 производится в емкость поз. B18550, сбора конденсата сокового пара со стадии выпарки. Кубовая часть с испарителя поз. W18540 и сепаратора поз. B18540 поступают на всас центробежного насоса поз. P18550. Паровая фаза, отделившаяся в сепараторе поз. B18540, поступает в межтрубное пространство конденсатора поз. W18550.

Конденсатор поз. W18550 представляет собой двухходовой кожухотрубчатый теплообменник. По межтрубному пространству теплообменника подается пар от сепаратора поз. B18540, по трубному

пространству подается охлаждающая оборотная вода с температурой не более 28 °С. Конденсат пара от конденсатора поз. W18550 поступает в сборник конденсата поз. B18550.

Насосом поз. P18710 конденсат сокового пара из сборника поз. B18550 через теплообменник поз. W18710 подается в емкость деаэрированной воды поз. B18720.

Создание вакуума на осуществляется вакуумными насосами поз. P18580A/B. Насосы поз. P18580A/B, действуют по жидкостно-кольцевому принципу, они состоят из цилиндрического корпуса, внутри которого вращается рабочее колесо с укрепленными на нем лопастями. Рабочее колесо расположено эксцентрично по отношению к корпусу. При вращении рабочего колеса жидкость под действием центробежной силы отбрасывается к корпусу, создавая концентричное ему жидкостное кольцо. Из-за эксцентриситета между корпусом и рабочим колесом, объем рабочих камер, образованных соседними лопастями рабочего колеса и жидкостным кольцом, циклично увеличиваются и уменьшаются, создавая перепад давлений. Таким образом, осуществляется отсос паровой фазы из системы с созданием вакуума. Из межтрубного пространства испарителей смонтированы линии в общий коллектор, который соединен с межтрубным пространством конденсатора поз. W18550.

На линии выхода инертных газов от конденсатора поз. W18550 установлен регулирующий клапан поз. PCSV 18012, который закрывается при закрытии клапана поз. FCSV 18002.

Во время эксплуатации охлаждающая оборотная вода постоянно подается на насос поз. P18580 A/B для отвода тепла, образующегося в результате компрессии, а также для компенсации объема жидкости, выталкиваемой вместе с газом через нагнетательный патрубок. С этой целью насосы поз. P18580 A/B оборудованы емкостями поз. B18580A/B.

Насосом поз. P18550 раствор НМС с концентрацией капролактама 30 - 35% подается во встроенный в верхней части испарителя поз. W18530

змеевик. Далее поток направляется во встроенный змеевик испарителя второй ступени поз. W18520.

Испаритель поз. W18520 представляет собой вертикально установленный цилиндрический аппарат, в трубное пространство которого подается раствор НМС, а по межтрубному греющий агент - пар 5 бар (изб.) Аппарат оборудован смотровым окном. Пройдя змеевик подогрева, встроенный в испаритель поз. W18520 поток раствора НМС с температурой 100 - 130 °С направляется в линию циркуляции, испарителя поз. W18520. Подогрев испарителя поз. W18520, второй ступени выпаривания лактамной воды, осуществляется за счет подачи в межтрубное пространство сокового пара от сепаратора поз. B18510, первой ступени выпаривания. Нагретый в трубном пространстве водный раствор НМС поступает в нижнюю часть испарителя, откуда парожидкостная смесь выдается в центробежный сепаратор поз. B18520/K18520. Сепаратор состоит непосредственно из центробежного сепаратора поз. B18520 и колонны скруббинга поз. K18520, состоящая из корпуса и тарелок, расположенных на верхней части сепаратора.

Паровая фаза от сепаратора поз. B18520/K18520 поступает на обогрев испарителя третьей ступени поз. W18530. Конденсат сокового пара из межтрубного пространства испарителя поз. W18520 выдается в межтрубное пространство испарителя поз. W18530.

Для увеличения поверхности контакта паровой фазы и флегмы сепаратор оборудован распределительными тарелками. В качестве флегмы используется конденсат сокового пара от сепараторов, поз. B18510/K18510, B18520/K18520, B18530, B18540. Конденсат сокового пара от конденсатора поз. W18550 к сепаратору поз. B18520/K18520 и к сепаратору поз. B18510/K18510 подается насосом поз. P18570.

Концентрированный лактам из испарителя поз. W18520 и сепаратора поз. B18520/K18520 поступает на всас центробежного насоса поз. P18530, с нагнетания которого поступает в трубное пространство испарителя поз.

W18520 для дополнительного подогрева. Остальная часть раствора из кубовой части испарителя поз. W18520 поступает на всас центробежного насоса поз. P18520. С нагнетания насоса поз. P18520 раствор НМС с концентрацией 50 - 55% поступает во встроенный в испаритель поз. W18510 змеевик. После дополнительного нагрева в змеевике (100 - 130 °С), поток направляется в линию циркуляции первой ступени выпаривания поз. W18510.

Испаритель поз. W18510 представляет собой вертикально установленный цилиндрической формы аппарат, по трубному пространству которого подается раствор НМС, а по межтрубному греющий агент - пар 5 бар (изб). Из кубовой части испарителя поз. W18510 парожидкостная смесь самотеком поступает в центробежный сепаратор поз. B18510/K18510, где происходит отделение паров воды от водного раствора НМС, концентрация которого на этой стадии выпарки достигает 75-95% низкомолекулярных соединений в воде. В сепаратор поз. B18510/K18510 предусмотрена подача флегмы. Флегма подается в две зоны сепаратора поз. B18510/K18510, каждая из которых оборудована распределительными тарелками для увеличения поверхности контакта паровой фазы с флегмой.

Часть раствора НМС из кубовой части испарителя поз. W18510, а также из нижней части сепаратора поз. B18510, поступает на всас центробежного насоса поз. P18510. С нагнетания насоса поз. P18510 поток раствора НМС поступает на доконцентрирование в верхнюю часть испарителя поз. W18510.

В качестве греющего агента на первой ступени выпаривания используется пар с давлением 5 бар (изб), из цехового коллектора, который подается в верхнюю часть межтрубного пространства испарителя поз. W18510.

Из кубовой части испарителя первой ступени поз. W18510, раствор НМС с концентрацией 70 - 90% масс. поступает на всас центробежного насоса поз. P18560 с выдачей концентрата НМС, по обогреваемому горячей

водой трубопроводу, через клапан поз. QSV 18001 в сборник лактама поз. В18610. Если концентрация ниже 70% (масс.), то выдача идет в сборник поз. В18110 через клапан поз. QSV 18011.

Для полного опорожнения стадии выпаривания, в случае остановки, со всасов насосов поз. P18510, P18520, P18530, P18540, P18550, P18560 смонтированы дренажные линии в сборник лактамной воды поз. В18110. На торцы насосов поз. P18510, P18520, P18530, P18540, P18550, P18560, P18570 для охлаждения подается деминерализованная вода.

Сборник регенерированного капролактама поз. В18610 объем 5м³установлен вертикально, оборудован обогревной рубашкой. Для поддержания температуры в сборнике 75 - 95°С по рубашке подается горячая вода от насоса поз. P13230. Для того чтобы исключить контакт регенерированного капролактама (LCR) с кислородом воздуха, в сборник поз. В18610 подается азот через клапан поз. PCSV 186P01.

Поддержание в сборнике поз. В18610 избыточного давления азота происходит за счет сообщения сборника с гидрозатвором поз. В18650. В качестве затворной жидкости в гидрозатворе поз. В18650 применяется деминерализованная вода. Из сборника поз. В18610 раствор регенерированного капролактама по обогреваемому горячей водой трубопроводу выдается на всас насоса поз. P18630. Насос поз. P18630 предназначен для выдачи регенерированного капролактама на стадию полимеризации в реактор-расщипитель поз. С13100. Регенерированный лактам (LCR) из емкости поз. В18610 насосом поз. P18630 с расходом подается на всас поршневого мембранного насоса поз. P18630.

Обогрев лактамных трубопроводов от участка регенерации насоса поз. P18630 осуществляется горячей водой

Перед поступлением регенерированного лактама в деполимеризатор поз. С13100 производится, подогрев его в теплообменнике поз. W13110. Подогрев производится парами динила вторичного контура до температуры 200 - 270 °С.

Регулирование давления в аппарате поз. С13100 проводится с помощью регулирующего клапана поз. СР 131С02, установленного на трубопроводе дегазации в гидрозатвор поз. В13055/1. Выход газовой фазы из гидрозатвора поз. В13055/1 осуществляется в атмосферу.

В случае превышения давления выше 40 бар(изб), сброс давления осуществляется в атмосферу через предохранительный клапан поз. 13101

Прежде, чем регенерированный лактам поступит в предварительный полимеризатор поз. С13200, в деполимеризаторе поз. С13100 происходит снижение количества олигомеров в результате реакции гидролиза амидной связи и смещения термодинамического равновесия в сторону образования мономера за счет высокой температуры и повышенного давления. Процесс деполимеризации проходит при температуре 100 - 300 °С и давлении 15 - 31,5 бар (изб). Обогрев деполимеризатора осуществляется парами динила вторичного контура.

Реакционная смесь, содержащая лактам и воду, необходимую для инициирования реакции полимеризации, поступает в реактор предварительной полимеризации поз. С13200. Предусмотрен трубопровод сброса вторичного пара из деполимеризатора поз. С13100 в гидрозатвор поз. В13055/1.

2.2 Анализ технической возможности повышения качества продукции и техническое предложение по оптимизации процесса

Проанализирована патентная информация, касающаяся способов оптимизации процесса синтеза полиамида-6. Все патенты можно условно разделить на группы, по основной технической мысли в них заложенной.

Так часть патентов ориентирована на совершенствование стадий грануляции и экстракции, за счет реорганизации технологических потоков.

Например, в патенте RU2605694 С1 описано оптимизация процесса регенерации экстракционных вод, основанный на конденсации

содержащихся в них олигомеров с последующей их фильтрацией и получением готового продукта.

В патенте [22] описан способ получения полиамида-6 в котором изменены стадии грануляции и экстракции. Подводная грануляция и экстракция осуществляются при применении одной и той же технологической жидкости. Таким образом, как подводная грануляция, так и экстракция согласно изобретению, производится при применении единой технологической жидкости, причем эта технологическая жидкость одна и та же для обоих этапов способа, т.е. жидкость, которая применяется в подводной грануляции, это та же жидкость, которая применяется при экстракции. Короче говоря, перекачиваемая жидкость подводной грануляции та же самая или идентична жидкости для экстракции. Таким путем достигается постоянная пониженная концентрация низкомолекулярных соединений. Эффектом особенностей технологии является сокращение времени стадии сушки, повышение надежности и увеличении производительности процесса гранулирования.

В патенте [23] описано изменение технологии экстракции за счет использования в качестве экстрагента технологической воды стадии грануляции. Техническим результатом является повышение концентрации лактамной воды и соответствующей сокращение потребления энергоресурсов на стадии выпаривания.

Оптимизации конструкции реактора синтеза посвящён патент [21]. В нем описана модернизация конструкции реактора полимеризации, заключающаяся в распределении реакционной массы, прошедшей предполимеризатор, в верхней части аппарата при помощи усовершенствованного распределительного устройства при помощи потока инертных газов. Дополнительно организована частичная рециркуляция продукта реакции. Эффектом такой модернизации является увеличение вязкости конечного продукта и снижение содержания в нем нежелательных примесей.

Некоторые патентные документы посвящены приданию продукту особых свойств за счет введения добавок. В авторском свидетельстве [24] описан способ термостабилизации полиамида-6 за счет введения в состав реакционной массы небольшого количества медного хелата полиамидагидразида.

В патенте [25] описана композиция реакционной массы производства полиамида-6, содержащая в качестве стабилизирующей добавки алифатическое изоцианатное соединение. Конечный продукт отличается повышенной стабильностью и технологичностью переработки.

В патенте [26] предложена оптимизация процесса синтеза, заключающаяся в изменении технологической карты процесса полимеризации и состава реакционной массы. В состав добавляют полиэтилсилоксановую жидкость. Процесс несколько растягивается во времени, но при этом повышается качество продукции и снижаются энергозатраты, за счет снижения температур проведения процесса до 210-215°C.

Некоторые патенты описывают способы переработки отходов производств изделий из полиамида-6.

В патенте [27] описан способ вовлечения отходов производства полиамида-6 в технологический процесс. Суть способа заключается в получении гранулированного полиамида-6 из отходов поликапроамидного волокна путем переплавления отходов поликапроамидного волокна в присутствии поликапроамидного концентрата термостабилизирующих добавок или поликапроамидного концентрата смеси термостабилизирующих добавок с пигментами или красителями. Это позволяет снизить объемы образования отходов и повысить рентабельность производства, при совмещении процесса синтеза полиамида-6 и изготовления его товарных форм.

В патенте [28] описан способ переработки отходов полиакриламидового производства путем переплавления отходов в аппарате

- полимеризационной трубе колонного типа при 240 - 295°C с последующим формованием жилки, охлаждением и гранулированием, причем переплавление осуществляют в присутствии полиамидного концентрата термостабилизирующих добавок с пигментами или красителями.

В патентной документации не уделено внимания получения полиамида с повышенным качеством гранулята по признаку внешнего вида и желтизны. Хотя в научной литературе это теме посвящено несколько публикаций [36], [37], [38] [39], [40], [41], [42], [43].

Отмечается влияние равномерного распределения по реакционной массе диоксида титана не только на однородность цвета, но и на прочностные и трибологические характеристики получаемых из гранулята изделий. Также параметр желтизны не будет определяем, так как гранулы будут однородного белого цвета.

По данным технологического регламента нормативное содержание диоксида титана составляет 0,2-0,4% на тонну продукта фактически, потребление диоксида 3,11кг на тонну продукции. Введение интенсивного перемешивания позволит снизить потребление диоксида титана до нижних границ нормы, с повышением качества продукта. Что позволит сэкономить 1,11кг на тонну продукции или, исходя из утвержденной производственной мощности 10120 тонн/год, 11233 кг/год диоксида титана.

Для осуществления перемешивания диоксида титана в реакционной массе требуется высокоскоростная фрезерная мешалка. Это обеспечивает высокую производительность и качество перетира пигмента. Установить ее можно в предполимеризатор С 13200. Так как фактически полимеризационные процессы в нем не идут, но температура реакционной массы уже достаточно высока, что снижает ее вязкость и мощность требуемую на перемешивание.

Таким образом, анализ технологической схемы, показателей качества продукции и литературной информации позволяет сделать вывод о том, что для повышения качества конечного продукта по параметру желтизны и

внешнего вида, а также для снижения потребления диоксида титана, необходимо установить в предполимеризатор перемешивающее устройство.

3 Расчетная часть

3.1 Материальный баланс процесса

В предполимеризатор поступает регенерированный капролактама, капролактама жидкий и деминерализованная вода. В ходе нагрева частично испаряется вода и поступает в дефлегматор, где конденсируется и возвращается обратно в предполимеризатор. Азот растворенный в капролактаме с потоком водяного пара проходит дефлегматор и направляется в гидрозатвор. Из предполимеризатора выходит реакционная масса. Диоксид титана содержится в виде суспензии в растворе капролактама и лимонной кислоты. Схема материального баланса приведена на рисунке 5.

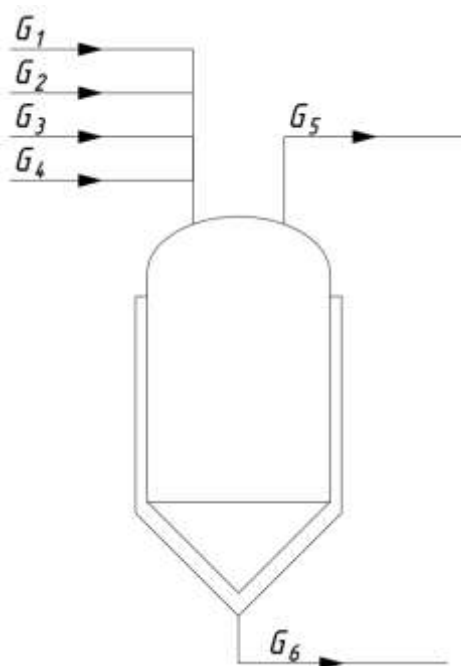


Рисунок 5 - Схема материальный потоков предполимеризатора С13200

Уравнение материального баланса будет иметь вид (уравнение 1)

$$G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = G_5 + G_6 \quad (1)$$

где G_1 -расход жидкого капролактама, кг/ч;

G_2 расход воды, кг/ч;

G_3 -расход регенерированного капролактама, кг/ч;

G_4 - расход суспензии диоксида титана в растворе капролактама, кг/ч;

G_5 -расход азота в гидрозатвор, кг/ч;

G_6 -расход реакционной массы на полимеризацию, кг/ч.

На основании данных технологического регламента составим покомпонентный материальный баланс [9]. Данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Материальный баланс предполимеризатора

| Вход | | Выход | |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| Наименование | Расход, кг/ч | Наименование | Расход, кг/ч |
| 1. Капролактама жидкий | | 1. Реакционная масса | |
| Капролактама | 2625 | Капролактама | 2827 |
| Азот | 58 | Вода | 275,5 |
| Терафталевая кислота | 80 | Азот | 4 |
| Триацетондиамин | 17 | Диоксид титана | 8,1 |
| 2. Капролактама регенерированный | | Терафталевая кислота | 80 |
| Капролактама | 202 | Триацетондиамин | 17 |
| Вода | 237,3 | Уксусная кислота | 0,1 |
| Азот | 12 | 2. Газовая сдувка в гидрозатвор | |
| 3. Вода деминерализованная | | Азот | 66 |
| Вода | 6,3 | | |
| 4. Суспензия диоксида титана | | | |
| Диоксид титана | 8,1 | | |
| Вода | 31,9 | | |
| Капролактама | 26,3 | | |
| Уксусная кислота | 0,1 | | |
| Итого: | 3304 | Итого: | 3304 |

После установки перемешивающего устройства в предполимеризатор снизится требуемый расход диоксида титана. Материальный баланс приведен в таблице 3

Таблица 3 – Материальный баланс предполимеризатора с перемешивающим устройством

| Вход | | Выход | |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| Наименование | Расход, кг/ч | Наименование | Расход, кг/ч |
| 1. Капролактамы жидкий | | 1. Реакционная масса | |
| Капролактамы | 2625 | Капролактамы | 2827 |
| Азот | 58 | Вода | 275,5 |
| Терафталевая кислота | 80 | Азот | 4 |
| Триацетондиамин | 17 | Диоксид титана | 8,1 |
| 2. Капролактамы регенерированный | | Терафталевая кислота | 80 |
| Капролактамы | 202 | Триацетондиамин | 17 |
| Вода | 237,3 | Уксусная кислота | 0,1 |
| Азот | 12 | 2. Газовая сдувка в гидрозатвор | |
| 3. Вода деминерализованная | | Азот | 66 |
| Вода | 6,3 | | |
| 4. Суспензия диоксида титана | | | |
| Диоксид титана | 8,1 | | |
| Вода | 31,9 | | |
| Капролактамы | 26,3 | | |
| Уксусная кислота | 0,1 | | |
| Итого: | 3304 | Итого: | 3304 |

Исходя из минимальных расходных норм 0,2 кг на тонну продукта расход диоксида титана составил 5,2 кг/ч.

3.2 Тепловой баланс процесса

Полимеризатор снабжен рубашкой, обогреваемой динилом. Сырьевые компоненты поступают в него, нагреваются, смешиваются и покидают реактор в виде реакционной смеси. Тепловой баланс реактора можно описать следующим уравнением (2):

$$Q_{\text{ф.с.}} + Q_{\text{динил}} = Q_{\text{ф.р.м.}} + Q_{\text{пот}} \quad (2)$$

где $Q_{\text{ф.с.}}$ - физическое тепло сырьевых компонентов, кДж/ч;

$Q_{\text{динил}}$ – тепло отдаваемое динилом реакционной массе, кДж/ч;

$Q_{\text{ф.р.м.}}$ – физическое тепло реакционной массы, покидающей реактор, кДж/ч;

$Q_{\text{пот}}$ – тепловые потери.

Исходные данные для расчета теплового баланса представлены в таблице 4. Значения теплоемкостей потоков сырья и реакционной массы приняты по растворам капролактама соответствующей концентрации, так как прочие компоненты участвуют в процессе в незначительных концентрациях.

Таблица 4 – «Исходные данные для расчета теплового баланса» [5]

| Наименование потока | Удельная теплоемкость кДж/(кг*К) |
|---|--|
| Сырьевые компоненты при температуре 220°C | $C_c = 3,78$ кДж/(кг · К) |
| Динил при температуре 265°C | $C_{\text{динил}} = 2,65$ кДж/(кг · К) |
| Динил при температуре 280°C | $C_{\text{динил}} = 2,71$ кДж/(кг · К) |
| Реакционная масса при температуре 240°C | $C_{\text{р.м.}} = 3,96$ кДж/(кг · К) |

Рассчитаем количество тепла, поступающее на входе в реактор согласно формуле (3):

$$Q_j = G_j \cdot C_{pj} \cdot T_j \quad (3)$$

Подставляем данные в формулу (3) и рассчитываем тепло сырьевых компонентов:

$$Q_{\text{ф.с.}} = 3304 \cdot 3,78 \cdot 220 = 2747606,4 \text{ кДж/ч}$$

Рассчитаем количество тепла на выходе из реактора по формуле (3):

$$Q_{\text{ф.р.м.}} = 3304 \cdot 3,96 \cdot 240 = 3140121,6 \text{ кДж/ч}$$

Рассчитаем количества тепла, отдаваемое динилом сырьевым компонентам, принимая объем потерь тепла 3%, по формуле (4):

$$Q_{\text{динил}} = \frac{Q_{\text{ф.р.м}} - 0,97 \cdot Q_{\text{ф.с}}}{0,97} \quad (4)$$

Подставляем в формулу (4) наши значения:

$$Q_{\text{динил}} = \frac{2747606,4 - 0,97 \cdot 5}{0,97} = 489632,4 \text{ кДж/ч}$$

Рассчитаем количество тепла, необходимое для охлаждения по формуле (5):

$$Q_{\text{пот}} = (Q_{\text{ф.с.}} + Q_{\text{динил}}) - Q_{\text{ф.р.м.}} \quad (5)$$

Подставляем значения в формулу (5):

$$Q_{\text{пот}} = (2747606,4 + 489632,4) - 3140121,6 = 97117,2 \text{ кДж/ч}$$

Получившиеся значения вносим в таблицу 5.

Таблица 5 - Тепловой баланс

| Приход | кДж/ч | Расход | кДж/ч |
|--|-----------|---|-----------|
| Физическое тепло сырьевых компонентов | 2747606,4 | Физическое тепло реакционной покидающей реактор массы | 3140121,6 |
| Тепло отдаваемое динилом реакционной массе | 489632,4 | Потери тепла | 97117,2 |
| Всего | 3237238,8 | Всего | 3237238,2 |

Рассчитаем расход динила, который потребуется для осуществления процесса по формуле (6):

$$G_{\text{динил}} = \frac{Q_{\text{динил}}}{c_{\text{динил}}(t_{\text{к}} - t_{\text{н}})} \quad (6)$$

Подставляем значения в формулу (6)

$$G_{\text{динил}} = \frac{489632,4}{2,68(280 - 265)} = 12179 \text{ кг/ч}$$

Расчетные значения не превышают проектных нагрузок по тепловым и материальным поток на предполимеризатор.

3.3 Конструктивный расчет перемешивающего устройства и параметров процесса

Выберем для осуществления процесса перемешивания в предполимеризаторе мешалку фрезерного типа, по рекомендациям, описанным в [2]. Мешалки такого типа быстроходны, предназначены для приготовления тонкодисперсных композиций и обеспечивают высокую интенсивность процесса перемешивания и диспергирования в существующих условиях работы предполимеризатора.

Исходные данные расчета приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочие параметры предполимеризатора

| Параметр | Значение |
|---|-----------|
| Диаметр, м | 1,95 |
| Высота заполнения, м | 3,3 |
| Коэффициент сопротивления | 1,5 |
| Плотность жидкой фазы, кг/м ³ | 886 |
| Диаметр частиц, м | 0,0000003 |
| Плотность твердой фазы, кг/м ³ | 3800 |
| Вязкость жидкой фазы, Па*с | 0,2 |
| Частота вращения, об/с | 10 |

Диаметр мешалки определим по формуле (7):

$$d_m = \frac{D}{3} \quad (7)$$

Подставим значения в формулу (7):

$$d_m = \frac{1,95}{3} = 0,65\text{м}$$

Найдем среднюю плотность реакционной смеси, поступающей в предполимеризатор по формуле (8):

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{1}{\left(\frac{1-x}{\rho} + \frac{x}{\rho_{\text{ч}}}\right)} \quad (8)$$

Подставим значения в формулу (8):

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{1}{\left(\frac{1-0,008}{886} + \frac{0,008}{3800}\right)} = 891$$

Найдем центробежный критерий Рейнольдса по формуле (9):

$$Re_{\text{ц}} = \frac{\rho_{\text{ср}} n d_m^2}{\mu} \quad (9)$$

Подставим значения в формулу (9):

$$Re_{\text{ц}} = \frac{891 \cdot 10 \cdot 0,65^2}{0,2} = 18830$$

Параметр заполнения аппарата найдем по формуле (10):

$$\gamma = \frac{4H}{R} + 1 \quad (10)$$

Подставим значения в формулу (10):

$$\gamma = \frac{4 \cdot 3}{0,65} + 1 = 18,5$$

Равновесия крутящего момента и момента сопротивления описывается уравнением (11):

$$E = \frac{\gamma}{z_M \zeta_M Re_{ц}^{0,25}} = 2,4 \frac{0,1\psi_1^2 + 0,222\psi_1\psi_2 + 0,125\psi_2^2}{\lambda_T \bar{R} [1 + 0,4\psi_1 + 0,5\psi_2 + 2(1 + \psi_1 + \psi_2) \ln \bar{R}]^{1,75}} \quad (11)$$

Отсюда найдем параметр E

$$E = \frac{18,5}{1 \cdot 1,5 \cdot 18830^{0,25}} = 1,06$$

Из графика 2.10[2] $\psi_1=1$

Найдем коэффициент ψ_2 по формуле (12):

$$\psi_2 = 0,5 + 1,25 \cdot \psi_1 \quad (12)$$

Подставим значения в формулу (12)

$$\psi_2 = 0,5 + 1,25 \cdot 1 = 1,75$$

Скорость осаждения частиц найдем по формуле (13):

$$\omega_{oc} \approx 1,15 \sqrt{d_q \Delta \rho g / \rho} \quad (13)$$

Подставим значения в формулу (13):

$$\omega_{oc} \approx 1,15 \sqrt{0,0000003 \cdot (3800 - 886) \cdot \frac{9,81}{886}} = 0,018 \text{ м/с}$$

Найдем радиус центральной зоны по рисунку 3.6[2], $r_m=0,58$

Коэффициент $K_{ц}$ найдем по формуле (14)

$$K_{ц} = \omega_{oc} / [0,05(\bar{R} - \bar{r}_m)^2 \sqrt{gr_0}] \quad (14)$$

Подставим значения в формулу (14):

$$K_{ц} = \frac{0,018}{[0,05(3 - 0,58)^2 \sqrt{9,81 \cdot 0,3}} = 0,09$$

Найдем соотношение $x/x_{cp}=0,99$ по графику 5.3[2]. Это значит, что частицы распределены однородно в радиальном профиле.

Определим распределение частиц по высоте слоя жидкой фазы

Градиент скорости найдем по формуле (15):

$$D_{T2} = \alpha_0^2 \omega_0 r_0^2 \frac{(\bar{R} - \bar{r}_m)^2}{\bar{R} - \bar{r}_m^2} [-1,6\psi_1(\bar{r}_m^5 - 1) + 1,5\psi_2(\bar{r}_m^4 - 1) + (\bar{r}_m^2 - 1) + 2(\psi_1 + \psi_2 + 1) \ln \bar{R}] \quad (15)$$

Подставим значения в формулу (15)

$$\begin{aligned} D_{T2} &= 0,45^2 \cdot 6,5 \\ &\times 0,3^2 \frac{5,8}{8,6} [-1,6 \cdot (0,6^5 - 1) + 2,6 \cdot (0,6^4 - 1) + (0,6^2 - 1) + 2 \\ &\times 3,75 \cdot \ln 3] = 0,57 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Уравнение профиля скорости записывается следующим образом (уравнение 16):

$$\bar{v}(r_0) = \psi_1 + \psi_2 + 1 \quad (16)$$

Подставим значения в уравнение (16):

$$\bar{v}(r_0) = 1 + 1,75 + 1 = 3,75$$

Значение коэффициента $k_q=0,014$ для фрезерных мешалок [2]

Циркуляционный расход жидкости, рассчитываем по формуле (17):

$$q = k_q n d_M^3 \quad (17)$$

Подставим значения в формулу (17):

$$q = 0,014 \cdot 10 \cdot 0,65^3 = 0,038 \text{ м}^3/\text{с}$$

Найдем значение радиуса границы центральной и периферийной зон по формуле (18):

$$r_m = r_0 \cdot \bar{r}_m \quad (18)$$

Подставим значения в формулу (18):

$$r_m = 0,325 \cdot 0,58 = 0,19 \text{ м}$$

Скорость восходящего потока находится по формуле (19):

$$\omega_2 = q / [\pi (\bar{R} - \bar{r}_m^2)] \quad (19)$$

Подставим значения в формулу (19)

$$\omega_2 = \frac{0,038}{[3,14 (3 - 0,325^2)]} = 0,0042 \text{ м/с}$$

Найдем значение критерия Пекле по формуле (20):

$$Pe_M = \frac{(w_{oc} - w_2)H}{D_{T2}} \quad (20)$$

Подставим значения в формулу (20):

$$Pe_M = \frac{(0,018 - 0,004) \cdot 3,3}{0,57} = 0,08$$

Найдем отклонения концентрации по высоте слоя по формуле (21):

$$\frac{x}{x_{cp}} = \frac{Pe_M \exp(-Pe_M z)}{1 - \exp(-Pe_M)} \quad (21)$$

Подставим значения в формулу (21):

$$\frac{x}{x_{cp}} = \frac{0,08 \cdot e^{-0,8}}{1 - e^{-0,8}} = 0,925$$

То есть максимальное локальное отклонение концентрации частиц по высоте слоя жидкости в аппарате от среднего значения не превышает 7,5%. Что говорит об однородности распределения пигмента по всему объему реакционной массы.

Определим мощность привода мешалки.

Критерий мощности находится по графику 2.26[2] $K_N=0,08$

Мощность привода находится по уравнению (22):

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5 \quad (22)$$

Подставим значения в уравнение (22):

$$N = 0,08 \cdot 891 \cdot 10^3 \cdot 0,65^5 = 8,3 \text{ кВт}$$

С учетом запаса выберем стандартные электродвигатель АИР 160 S6 мощностью 11 кВт и номинальным числом оборотов 1000об/мин.

Примем материал вала такой же как у корпуса аппарата 08X18H10T, в условиях процесса $[\sigma]=450$ МПа. Диаметр вала 0,08м, длина 3м. Массу вала найдем по формуле (23) [10]

$$m = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \rho \cdot l \quad (23)$$

Подставим значения в формулу (23):

$$m = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} \cdot 7900 \cdot 3 = 47 \text{ кг}$$

Момент инерции поперечного сечения вала определяется по формуле (24):

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (24)$$

Подставим значения в формулу (24)

$$J = \frac{\pi \cdot 0,05^4}{64} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Коэффициент К определяется по формуле (25):

$$K = \frac{M_M}{m \cdot L} \quad (275)$$

Подставим значения в формулу (25):

$$K = \frac{25}{47 \cdot 3} = 0,18$$

Коэффициент a_1 находится по формуле (26):

$$a_1 = \frac{l_1}{L} \quad (26)$$

Подставим значения в формулу (26):

$$a_1 = \frac{2,7}{3} = 0,9$$

Определим критическую скорость вала по формуле (27):

$$w_{кр} = \left(\frac{\alpha}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{EJ}{m}} \quad (27)$$

Подставим значения в формулу (27):

$$w_{кр} = \left(\frac{1,7}{3}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 10^4}{47}} = 11,44 \text{ м/с}$$

Условие виброустойчивости вала определяется неравенством (28):

$$w = \frac{\pi \cdot n}{30} < w_{кр} \quad (28)$$

Подставим значения в неравенство (28)

$$\frac{3,14 \cdot 10}{30} < 11,44$$

Неравенство выполняется, вал выбранного диаметра виброустойчив при выбранной частоте вращения.

Коэффициент приведения распределенной массы вала и к сосредоточенной массе мешалки рассчитывается по формуле (29):

$$q = \frac{3}{(4 - 2,2a_1)^4 \cdot a_1^2} \quad (29)$$

Подставим значения в формулу (29):

$$q = \frac{3}{(4 - 2,2 \cdot 0,9)^4 \cdot 0,9^2} = 0,22$$

Эксцентриситет центра масс мешалки находится по формуле (30):

$$e = 0,5 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot D_M \quad (30)$$

Подставим значения в формулу (30):

$$e = 0,5 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 0,65 = 0,02$$

Радиус вращения центра тяжести мешалки и вала, рассчитываем по формуле (31):

$$r = \frac{e}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{кр}}\right)^2} \quad (31)$$

Подставим значения в формулу (31):

$$r = \frac{0,02}{1 - \left(\frac{10,47}{11,44}\right)^2} = 0,12\text{м}$$

Определим приведенную массу мешалки и вала по формуле (32):

$$M_{пр} = M_{меш} + qmL \quad (32)$$

Подставим значения в формулу (32):

$$M_{\text{пр}} = 25 + 0,22 \cdot 47 \cdot 3 = 56 \text{ кг}$$

Определим центробежную силу по формуле (33):

$$F_{\text{ц}} = M_{\text{пр}} \omega^2 r \quad (33)$$

Подставим значения в формулу (33)

$$F_{\text{ц}} = 56 \cdot 10,47^2 \cdot 0,12 = 737 \text{ Н}$$

Реакции в опорах находятся по формулам (34), (35):

$$R_A = -R_B + F_{\text{ц}} \quad (34)$$

$$R_B = \frac{3}{2} \cdot P \left(\frac{L}{l_2} - \frac{1}{3} \right) \quad (35)$$

Подставим значения в формулы (34), (35):

$$R_A = -2044 + 737 = 1308 \text{ Н}$$

$$R_B = \frac{3}{2} \cdot 141 \cdot \left(\frac{3}{0,3} - \frac{1}{3} \right) = 2044 \text{ Н}$$

Напряжение изгиба находится по формуле (36):

$$\sigma_u = \frac{45}{0,1d^3} \quad (36)$$

Подставим значения в формулу (36):

$$\sigma_u = \frac{45}{0,1 \cdot 0,05^3} = 3,6 \text{ МПа}$$

Напряжение кручения находится по формуле (37):

$$\tau = \frac{T}{0,2d^3} \quad (37)$$

Подставим значения в формулу (37):

$$\tau = \frac{730}{0,2 \cdot 0,05^3} = 29,2 \text{ МПа}$$

Эквивалентное напряжение находится по формуле (38):

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_u^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (38)$$

Подставим значения в формулу (38)

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{3,6^2 + 4 \cdot 29,2^2} = 58,5 \text{ МПа}$$

Напряжение значительно меньше предела прочности материала $[\sigma]=450\text{МПа}$. Рекомендуемый минимальный запас по прочности должен находиться в пределах 1,5-2. В нашем случае он составит 7,7.

Уменьшение диаметра вала, исходя из возможности сокращения металлоемкости, приведет к нарушению условия виброустойчивости, из-за близости скорости вращения центра масс к критической. Поэтому диаметр вала оставляем ранее принятым 50мм.

Таким образом, было подобрано перемешивающее устройство, которое обеспечит равномерное распределение в объеме реакционной массы пигмента - диоксида титана. Расчеты показали, что для этих целей подходит фрезерная мешалка с диаметром диска 0,65м, диаметром вала 0,05м, длина вала составляет 3м. Подобран привод мощностью 11кВт.

Заключение

В результате исследований, проведенных в работе, выяснилось, что содержание и равномерность распределения диоксида титана в реакционной массе на стадии полимеризации полиамида-6 играют важную роль в формировании цвета полиамидных изделий. Они влияют на внешний вид, желтизну и качество гранул полиамида.

Обеспечение требуемых показателей цвета и равномерности распределения диоксида титана требует применения соответствующих технологических мер и контроля процесса. Введение перемешивающего устройства, такого как фрезерная мешалка, в предполимеризатор позволяет достичь более эффективного распределения пигмента в реакционной массе.

Оптимизация процесса распределения диоксида титана влияет на качество гранул полиамида, в том числе на их внешний вид, желтизну, прочностные и трибологические характеристики. Обеспечение равномерности распределения позволяет получить продукт однородного цвета и лучшего качества. Предложенное введение перемешивающего устройства в предполимеризатор позволяет снизить потребление диоксида титана до нижних границ нормы, сэкономить ресурсы и снизить стоимость производства.

Подобранная фрезерная мешалка соответствующих параметров (диаметр диска 0,65 м и диаметр вала 0,05 м) обеспечивает необходимую интенсивность перемешивания и равномерность распределения диоксида титана в реакционной массе. Подобран стандартный электродвигатель для осуществления процесса перемешивания мощностью 11 кВт

Таким образом, установка перемешивающего устройства в предполимеризатор является эффективным методом для обеспечения равномерного распределения диоксида титана и повышения качества полиамида-6, что влияет на его внешний вид, цветовые характеристики и общую стоимость продукта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Бортников, В. Г. Теоретические основы и технология переработки пластических масс / В.Г. Бортников. -М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 480 с.
2. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах Л.: Химия, 1984. — 336 с., ил.
3. Берлина А. А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / - СПб.: Профессия, 2014. - 592 с.
4. Галашина, Н. М. Полимеризационное наполнение как метод получения новых композиционных материалов Высокомолекулярные соединения. - 1994. - Т 36. - С. 640-650.
5. Горбунова Е.В., Деев Ю.С., Куличихин С.Г., Рябов Е.А. Получение наполненных полиамидов с улучшенными свойствами Пластические массы. - 1981. - № 10. - С. 12 - 14.
6. Дебердиева, Е.М. Конкурентоспособность отечественных полимеров: проблемы и потенциал развития Теория и практика общественного развития. - 2015. - № 9. - С. 54-56.
7. Дьячковский, Ф.С. Синтез и свойства полимеризационно-наполненных полиолефинов Успехи химии. - 1984. - Т.53. - № 2. - С. 200-222.
8. Дытнерский Ю.И., Борисов Г.С. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1991.
9. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов; в 2-х кн. Ю.И. Дытнерский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1995. – 400 с.: ил. – ISBN 5-7245-1006-5.
10. Исаева В.И., Базаров Ю.М., Мизеровский Л.Н., Захаров Е.Ю., Колобков А.С. Низкотемпературная гидролитическая полимеризация капролактама. Синтез и переработка опытных партий полимера в комплексные нити. Хим. вол. 2011. № 1. С. 67-71.

11. Кравченко Т.П., Ермаков С.Н., Кербер М.Л., Костягина В.А. Научно-технические проблемы получения композиционных материалов на основе конструкционных термопластов Пластические массы. - 2010. - № 10. - С. 32-36.
12. Кулезнева В.Н., Гусева В.К. Основы технологии переработки пластмасс. - М: Мир, 2006. - 597 с.
13. Кербер М.Л., Буканов А.М., Вольфсон С.И. и др. Физические и химические процессы при переработке полимеров СПб.: Научные основы и технологии, 2013. - 320 с.
14. Липин А.А., Липин А.Г., Баранников М.В. Кинетика демономеризации полиамида-6 в токе инертного газа Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2016. №2. С. 91-98.
15. Липин А.А. Расчет оборудования твердофазной стадии синтеза полиамида-6 Czasopismo techniczne. 2-M./2012. - ZESZYTY 6, ROK 109. - Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. - p.253-262.
16. Мизеровский, Л.Н. Твердофазный синтез полиамида-6 Хим. волокна. - 2006. - № 4. - С. 40-48.
17. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. С. 624.
18. Николаев А.Ф., Крыжановский А.В., Бурлов В.В. Технология полимерных материалов. СПб.: Профессия. 2008. 544 с.
19. Овчинникова В.И., Ручинского В.Р. Производство капролактама/– М.: Химия, 1977. – 264 с.
20. Патент № 2753014 С1 Российская Федерация, МПК С01С 1/24 (2006.01), С01С 1/248 (2006.01). Способ получения кристаллического сульфата аммония: № 2020129128: заявл. 02.09.2020: опубликовано 11.08.2021 / Ардамаков С.В., Герасименко А.В.; заявитель Публичное акционерное общество "КуйбышевАзот"— 12 с.: ил.
21. Патент № ВУ10490 С1 Республика Беларусь, МПК С08 В01J19/24 С08G69/00. Способ получения высоковязкого,

высокостабилизированного поликонденсата и демономеризованного полиамида-6: № а 20031239: заявл. 17.05.2022: опубликовано 30.04.2008 / Вильцер К.; заявитель Полимер Инжиниринг ГМБХ— 3 с.: ил.

22. Патент № ВУ19549 С1 Республика Беларусь, МПК С08G69/16 С08G69/04 С08G69/46 В29В9/10 В01D11/02 С08J3/12. Способ и устройство для получения полиамида: № а 20100984: заявл. 20.11.2008: опубликовано 30.10.2015 / Дейсс Ш.; заявитель Аутоматик Пэстикс Машинери ГМБХ— 5 с.: ил.

23. Патент № ЕА17493 В1 Европейский союз, МПК С08G69/00 С08G69/14. Непрерывный способ экстракции мономерного капролактама : № 200901016 : заявл. 18.08.2009: опубликовано 28.12.2012 / Кирстен К., Замличка Ф., Альбрехт М; Урги Циммер ГМБХ— 6 с.: ил.

24. Патент № SU761623 А1 СССР, МПК D01F6/60. Способ термостабилизации полиамида: № 2641245/23-05: заявл. 10.07.1978: опубликовано 07.09.1980 / Чеголя А.С., Левин В.М., Тихонова Т.И., Тарасов А.В., Бронштейн Л.М., Жиздюк Б.И., Коршак В.В., Русанов А.Л.; Всесоюзный научно-исследовательский институт синтетических волокон— 10 с.: ил.

25. Патент № RU2608997 С2 Российская Федерация, МПК С08G69/14 С08G69/18 С08G69/20 С08L75/04. Композиция для анионной полимеризации лактама: № 2012117718: заявл. 02.05.2012: опубликовано 30.01.2017 / Клитшке Я., Бергманн К.; BruyggemannKemikal L. Bruyggemann KG— 8 с.: ил.

26. Патент № RU2471817 С1 Российская Федерация, МПК С08G69/16 С08G69/04. Способ получения полиамида-6: № 2012100343/04: заявл. 10.01.2012: опубликовано 10.01.2013 / Колобков А. С., Базаров Ю. М., Мизеровский Л. Н., Силантьева В. Г.; Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский Государственный хамико-технологический университет» — 8 с.: ил.

27. Патент № RU2073030 C1 Российская Федерация, МПК C08G69/46 C08J11/04. Способ получения гранулированного полиамида-6 отходов поликапроамидного волокна: № 93003351/04: заявл. 18.01.1993: опубликовано 10.02.1997 / Арцис Е.С., Борик Ю.А., Бухбиндер С.Н., Вальшкина Л.И., Гольдер В.Г., Искрина Ю.А., Кудряшова Н.Г., Сухоруков А.А., Ярыгин Н.Ф.; Научно-исследовательский институт пластических масс им. Г.С. Петрова с опытным московским заводом пластмасс— 6 с.: ил.

28. Патент № RU9300335 1A Российская Федерация, МПК C08J11/04 C08L77/00. Способ получения, гранулированного полиамида-6 отходов поликапроамидного волокна: № 93003351/04: заявл. 18.01.1993: опубликовано 10.10.1996 / Арцис Е.С., Борик Ю.А., Бухбиндер С.Н., Вальшкина Л.И., Гольдер В.Г., Искрина Ю.А., Кудряшова Н.Г., Сухоруков А.А., Ярыгин Н.Ф.; Научно-исследовательский институт пластических масс им. Г.С. Петрова с опытным московским заводом пластмасс— 8 с.: ил.

29. Раскутин, А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов Авиационные материалы и технологии. - 2017. -С. 344-348.

30. Симонов-Емельянов И.Д., Апексимов Н.В., Трофимов А.Н. и др. Структурообразование, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов Пластические массы. - 2012. - № 6. - С. 7-13

31. Товмасян В.Г., Бабанова А.С., Мирзоян С.М. и др. Синтез полимерных нанокомпозитов Химический журнал Армении. - 2008. - № 1. - С. 61-67.

32. Технологический регламент производства полиамида цеха №75 ОАО «КуйбышевАзот».

33. Чекрыгина, М. Ю. Получение пористого полистирола на основе высококонцентрированных обратных эмульсий Успехи в химии и химической технологии. - 2013. -Т.27. - № 6. -С. 128-131.

34. Шаглаева, Н.С. Перспективные направления химической модификации поливинилхлорида Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. - 2014. - № 3 (8). - С. 718.

35. Эсхан Карими Язди Амир. Снижение горючести полиамида 6 введением антипирена в процессе анионной полимеризации капролактама Пластические массы. - 2012. - № 5. - С. 7-8.
36. Bao J. The effect of TiO₂ on the mechanical and tribological properties of PA66 nanocomposites. *Adv Mat Res*. 2011; 284(286): 513- 516.
37. Farah T, Noori M, Ali NA, Al ajaj EA. Comparison study of wear and hardness of EP/nano and micro TiO₂ composites. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*. 2013; 2: 3.
38. Ravi Kumar BN, Suresha B, Venkataramareddy M. Effect of particulate fillers on mechanical and abrasive wear behaviour of polyamide 66/polypropylene nanocomposites. *Materials and Design*. 2009; 30: 3852- 3858.
39. Strong A.B. *Fundamentals of Composite Manufacture. Materials and Application*. SME. 2008. P. 683.
40. Satyajeet C, Tasnim S, Priyesh P. A review on polymer TiO₂ nanocomposites. *Int Journal of Engineering Research and Application*. 2013; 3(5): 1386- 1391.
41. Shima S, Esmail YM, Ramin K, Abo-Saeed R. Physical and mechanical properties of nylon 6/titanium dioxide micro and nano-composite multifilament yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2014; 9(3): 158- 167.
42. Unal H, Mimaroglu A. Influence of filler addition on the mechanical properties of nylon-6 polymer. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2004; 23(5): 461- 469.
43. Van Krevelen D.V., Nijenhuis K. *Properties of Polymers: Their Correlation with Chemical Structure; their Numerical Estimation and Prediction from Additive Group Contributions*. Elsevier Science & Technology. Oxford, United Kingdom. 2009. P. 1031.

Приложение А

Схема участка подготовки реакционной массы

