

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕКСТИЛЬНОЙ
И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

На правах рукописи
УДК 672.051.12-83

ГАНИЕВ АКМАЛ ХАНХУЖАЕВИЧ

**Регулируемый электропривод устройств
формирования синтетических волокон**

**5A521802 – Автоматизация технологических
и производственных процессов**

**Диссертация
написанная для получения академической степени
магистра**

**Научный руководитель:
д.т.н, проф. Арипов Н.М.**

Ташкент-2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
Глава I	Современное состояние плавильных устройств для формования синтетических волокон и их электроприводов	7
1.1.	Плавильные устройства машин для производства синтетических волокон	7
1.1.1.	Плавильные головки с поддавливающим шнеком.....	7
1.1.2.	Экструдеры.....	9
1.2.	Обзор электроприводов устройств плавления и формирования синтетических волокон.....	13
1.3.	Основные требования к регулируемому электроприводу плавильных устройств.....	16
	Выводы по главе I	17
Глава II	Анализ работы и определения принципа построения регулируемого электропривода плавильных устройств	18
2.1.	Анализ работы и определения мощности привода плавильных устройств	18
2.1.1.	Изучения процесса переработки синтетических смол.....	18
2.1.2.	Определения потребляемой и установленной мощности привода устройства	20
2.2.	Анализ динамических режимов экструдера.....	27
2.2.1.	Составление уравнения динамики работы экструдера.....	27
2.2.2.	Основные динамические режимы экструдера.....	29
2.3.	Определения принципа построения электропривода, выбора регулятора и закона регулирования.....	30
	Выводы по главе II	35
Глава III	Разработка и исследование регулируемого асинхронного электропривода экструдера	36
3.1.	Регулируемый электропривод постоянного тока экструдера	36
3.2.	Частотно-регулируемый асинхронный электропривод экструдера	47
3.3.	Исследования работы электропривода в динамических режимах	50
	Выводы по главе III	58
	Заключение	59
	Приложение	60
	Список литературы	61

ВВЕДЕНИЕ

Обоснованность темы диссертации и ее актуальность. Непрерывный рост выпуска синтетических волокон в стране, вызывает необходимость создания нового высокопроизводительного оборудования для их производства. Такое оборудование предусматривает высокую степень автоматизации всего технологического процесса и его отдельных стадий. При этом в общем технологическом процессе получения синтетических волокон большая роль принадлежит автоматизированному приводу машин для производства синтетических нитей.

Современные машины для формирования и переработки синтетических волокон и нитей – это в большинстве случаев многокомпонентные системы, отдельные механизмы которых связаны между собой движущейся нитью. Эти системы требуют точного поддержания заданных скоростей и определенной степени синхронизации. Точность и синхронизация должны обеспечиваться не только по мере продвижения нити от механизма к механизму, но и между одноименными механизмами, выполняющими одинаковые функции и находящимся на разных технологических местах.

В докладе Президента Республики Узбекистан И. Каримова на заседании правительства по итогам социально-экономического развития страны в 2013 году и важнейшим приоритетам на 2014 год сказано, что ... важнейшим приоритетом для нас продолжает оставаться модернизация, техническое и технологическое перевооружение производства, ускоренное обновление ведущих отраслей экономики. В текстильной промышленности приоритетное развитие должны получить новые современные текстильные комплексы с законченным циклом производства конкурентоспособной экспортной продукции. Это обеспечит увеличение объемов внутренней переработки хлопка-волокна более чем в 2 раза, производства пряжи – в 2,6 раза, готовых трикотажных и швейных изделий – в 3 раза, экспорта продукции текстильной промышленности – в 2 раза...[1].

Современный автоматизированный электропривод – это сложная электромеханическая система, включающая в себя электрические машины, источники их питания и устройства управления их работой. Разработка и эксплуатация автоматизированного электропривода машин требует знания устройств самих машин, а также основных элементов электропривода, взаимосвязей и взаимодействия между ними, определенной специфики, вытекающей из характера технологического процесса и оборудования.

Таким образом, современные машины для производства синтетических нитей весьма разнообразны, зачастую являются довольно сложными агрегатами, в состав которых входят специальные регулируемые электроприводы, наиболее полно удовлетворяющие технологическим процессам, поэтому прогресс в производстве синтетических нитей в значительной степени обусловлен развитием электромашиностроения, электроники и силовой преобразовательной техники.

В электроприводе машин и агрегатов для производства синтетических волокон широко применяются регулируемые электроприводы с коллекторными двигателями постоянного тока, обеспечивающих плавное регулирование скорости вращения в широком диапазоне, а также достаточной точности поддержания заданной скорости во всем диапазоне.

В настоящее время остро возникла необходимость в разработке, исследовании и внедрении регулируемых электроприводов с бесконтактными двигателями переменного тока, отличающийся повышенной надежностью и пожарной безопасностью и допускающий установку в помещениях прядильных цехов. С учетом вышеизложенных, актуальным направлением при реконструкции морально устаревших электроприводов существующих машин для формирования синтетических волокон и проектировании электроприводов вновь создаваемых машин, является направление, связанное с созданием частотно-регулируемых асинхронных электроприводов

Назначение объекта и предмета исследования. Объектом исследования является регулируемые электроприводы плавильных устройств

плавления и формирования синтетических волокон на основе экструдера. В работе в качестве предмета исследования принято частотно-регулируемый асинхронный электропривод с системой автоматического регулирования скорости вращения шнека и давления расплава экструдера.

Цель и задачи исследования. Цель исследования разработка принципов построения, схемных решений, исследования основных режимов частотно-регулируемого асинхронного привода плавильно-формовичных машин и дача рекомендации по внедрению полученных результатов в практику проектирования систем автоматизации технологических процессов производства синтетических нитей. В соответствии с поставленной целью в работе ставились и решались следующие задачи: изучено современное состояние плавильных устройств для формирования синтетических волокон и их электроприводов; определены требования к регулируемому электроприводу плавильных устройств; проведен анализ работы и определены принципы построения регулируемого электропривода плавильных устройств осуществлена разработка и исследование регулируемого асинхронного электропривода экструдера, произведен выбор системы и основных элементов частотного электропривода; разработана функциональная схема и устройства для изменения частоты вращения шнека.

Основные проблемы и гипотезы исследования. Основные проблемы исследования – проведение анализа современных регулируемых электроприводов плавильно-формовичных машин с коллекторными двигателями постоянного тока, разработка нового частотно-регулируемого асинхронного привода машин для формирования синтетических волокон. Гипотеза исследования –разработанный частотно-регулируемый асинхронный электропривод отличается повышенной надежностью и пожарной безопасностью и допускает установку в помещениях прядильных цехов.

Краткий обзор литературы по теме. Список изученной и использованной литературы включает в себя: указание Президента И.А.Каримова по модернизации, технического и технологического перевооружения тек-

стильной промышленности, монографии, учебники и учебные пособия, статьи в научных и научно-технических журналах, Интернет сайты по автоматизации технологического процесса формирования синтетических нитей, регулируемым электроприводам плавления-формовичных машин.

Краткая характеристика методик использованных в исследовании. В исследовании использованы методики и методы современных систем управления частотного асинхронного электропривода, силовой преобразовательной техники и теории автоматического управления.

Теоретическая и практическая ценность результатов исследования. Практическая ценность обусловлена, в первую очередь комплексным подходом к проблеме создания электропривода экструдера, определением требований к регулируемого электроприводу и их принципов построения частотного асинхронного электропривода, способов управления привода и преобразователя, разработки инженерных методик и реализующие их алгоритмы расчета электромагнитных процессов в системе «ПЧ-АД-Э», создания рациональных структур автоматизированных электроприводов, реализующих оптимальное управление технологическим процессом плавления и формирования синтетических нитей в функции от частоты вращения шнека и давления расплава на выходе экструдера.

Научная новизна исследования. В работе впервые разработана рациональная система частотно-регулируемого асинхронного электропривода плавления-формовичных машин, реализующего оптимальное управление технологическим процессом производства синтетических нитей, с учетом конкретного вида оборудования – экструдера, ее мощности, диапазона регулирования скорости, а также других технологических и конструктивных параметров.

Краткая характеристика состава диссертации. Диссертация состоит из аннотации, введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из ____ наименований. Работа изложена на ____ страницах машинописного текста, содержит ____ рисунков и ____ таблиц.

ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАВИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН И ИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В качестве плавильных устройств на современных машинах для формования синтетических волокон применяются плавильные головки с поддавливающим шнеком и экструдеры [3,4,5]. Последние в силу своей универсальности нашли более широкое применение, однако конструктивная простота и небольшие габариты головок делают их в некоторых случаях конкурентоспособными с экструдерами.

1.1. Плавильные устройства машин для производства синтетических волокон

1.1.1. Плавильные головки с поддавливающим шнеком

На рис. 1.1 показана схема плавильной головки с принудительной подачей гранулята к обогреваемой решетке при помощи поддавливающего шнека. Шнек через планетарный редуктор 2 приводится во вращение от привода 1 с электромагнитной муфтой скольжения типа ПМС-0,6. Гранулы полимера по патрубку 9 поступают в подшнековое пространство 3, захватываются шнеком 4 и подаются к плавильной решетке 8, обогреваемой трубчатыми нагревателями 6. Образовавшийся расплав по каналу 7 стекает к дозирующему насосу 5, откуда подается к фильерному комплексу [3,6].

Поддавливающий шнек работает с небольшой частотой вращения ($8 \dots 10 \text{ мин}^{-1}$), а требуемая подача крошки обеспечивается подбором размеров и угла подъема винта шнека. Привод с электромагнитной муфтой скольжения работает на естественных механических характеристиках, благодаря чему возможно дозирование гранул полимера и поддержание постоянного давления на решетке.

При накоплении гранул в конусной гильзе между решеткой и шнеком создается давление, действующее как на решетку, так и на нижнюю торцевую поверхность шнека.

Увеличенный момент нагрузки, воздействуя на электромагнитную

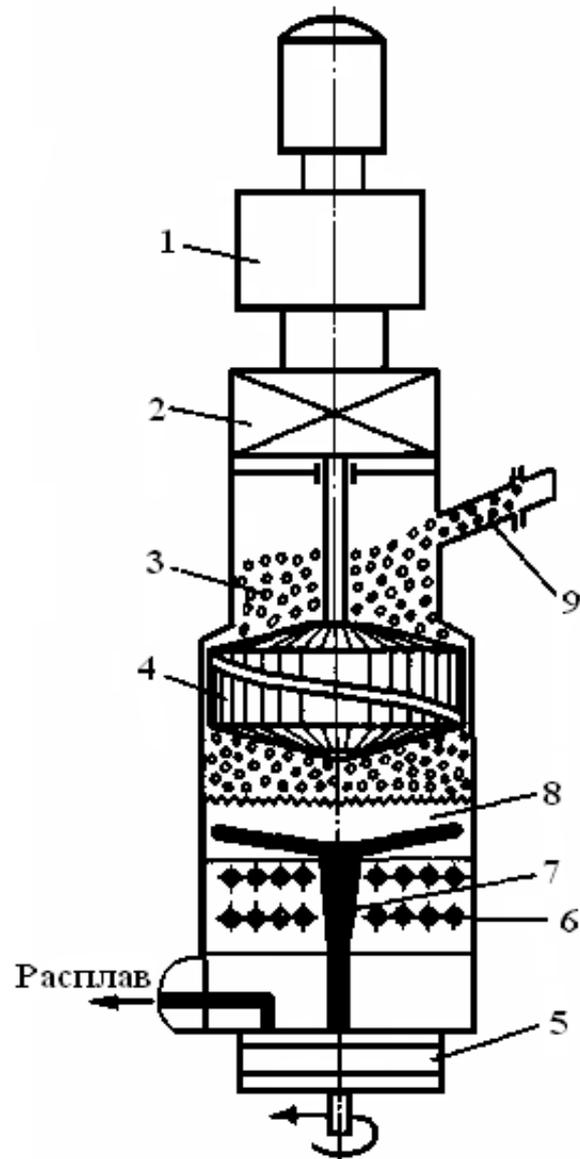


Рис.1.1. Схема плавильной головки с поддавливающим шнеком

муфту, снижает ее частоту вращения. При этом момент, развиваемый электромагнитной муфтой, возрастает, и равновесие моментов наступает при несколько сниженной частоте вращения шнека. Подача гранул уменьшается, что, в конечном счете, приводит к снижению тормозного момента и восстановлению прежней частоты вращения шнека.

Таким образом, при достаточной мягкости естественных механических характеристик работа привода происходит в некоторой области точки a характеристики при небольших изменениях момента M и значительных изменениях частоты вращения n (рис. 1.2).

Небольшие изменения момента шнека способствуют постоянному усилию прижима гранул полимера к решетке, обеспечивая ей постоянную плавильную способность.

Рассмотрим схему электропривода плавильной головки с поддавливающим шнеком, применяемой на плавильно-формовочных машинах марки ПШ-1000-ИР (рис.1.3). Привод типа ПМС-0,6 запитан от сети через защитный автомат QF и магнитный пускатель K . Ток возбуждения, получаемый от вторичной обмотки трансформатора TV через выпрямительный мост VD , может резистором R изменяться от нуля до номинального значения [7].

Контроль тока производится по амперметру PA . Исследования показали, что хорошая работа плавильной головки обеспечивается при условии, если мягкость механических характеристик привода определяется соотношением $k = \Delta n / \Delta M = (5,1 \dots 8,3) \text{ с}^{-1} / \text{Н} \cdot \text{м}$. Этому соответствуют значения тока возбуждения привода, лежащие в диапазоне $0,35 \dots 0,55 \text{ А}$.

1.1.2. Экструдеры

Экструдерный способ получения качественного расплава является одним из новых и прогрессивных способов. [3,5,8] Он еще мало изучен. Правильной и точной дешифровки процесса плавления в экструдерах до сих пор нет. Отличительной чертой плавильных устройств экструдерного

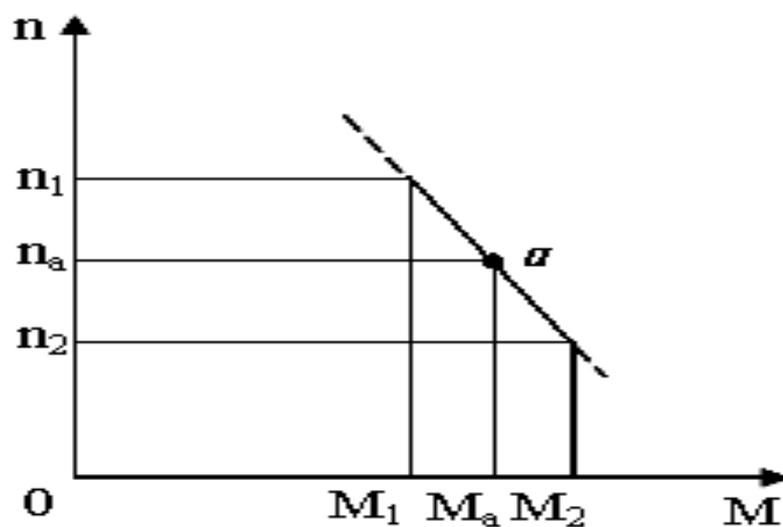


Рис. 1.2. Характеристика работы привода типа ПМС-0,6:
 M_1, M_2 – пределы изменений момента нагрузки;
 n_1, n_2 – пределы изменения частоты вращения шнека;
 K – коэффициент, характеризующий мягкость механической характеристики привода

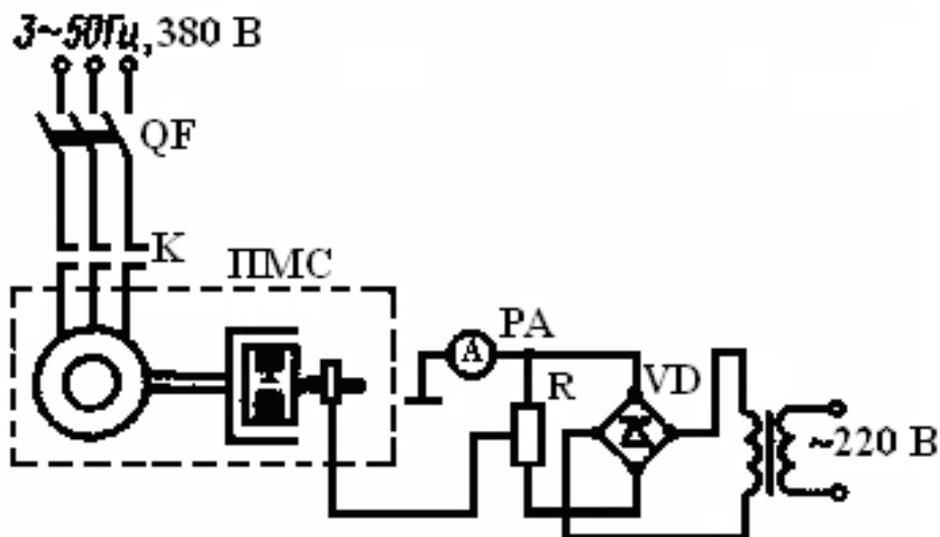


Рис.1.3. Принципиальная схема электропривода плавильной головки с подавляющим шнеком машины марки ПП1-1000-ИР

типа является:

- их универсальность в отношении переработки различных полимеров,
- быстрый переход от минимальной производительности к максимальной, достигающей порой 6...10-кратного значения,
- практически неограниченная плавильная способность по вязкости.

Вследствие плавления полимера между цилиндром и вращающимся шнеком расплав получается хорошо гомогенизированным, при этом заметно снижается количество наплывов и обрывность элементарных волокон.

Положительным качеством экструдерного способа плавления является возможность вводить красители одновременно с полимером, благодаря чему процессы окраски и плавления совпадают. Вследствие того, что полимер в экструдере находится всего несколько минут, прирост низкомолекулярных соединений НМС незначителен (примерно 0,6...0,7%), а, в общем, волокно с экструдерных плавильных устройств получается с количеством НМС не менее 2%, что исключает последующие отделочные операции [5].

Применяемые в настоящее время в производстве синтетических волокон экструдеры мало чем отличаются от аналогичных устройств для переработки пластических масс. Объясняется это, главным образом, сходством процесса переработки материала в обоих производствах и незначительным различием конструкций самих экструдеров.

На рис. 1.4 приведена схема экструдера. Смола в виде крошки или гранулята через загрузочную воронку 9 подается в канал шнека 8. Шнек вращается в цилиндре 7, в который может быть вставлена износостойкая гильза. Вращение производится электродвигателем 1 через редуктор 11, осевое усилие шнека воспринимается упорным подшипником 10. Цилиндр обогревается наружным нагревателем 6, разбитым на ряд зон [8].

Вся машина смонтирована на станине 2. При вращении шнека гранулы полимера перемещаются внутри канала от загрузочной воронки по на

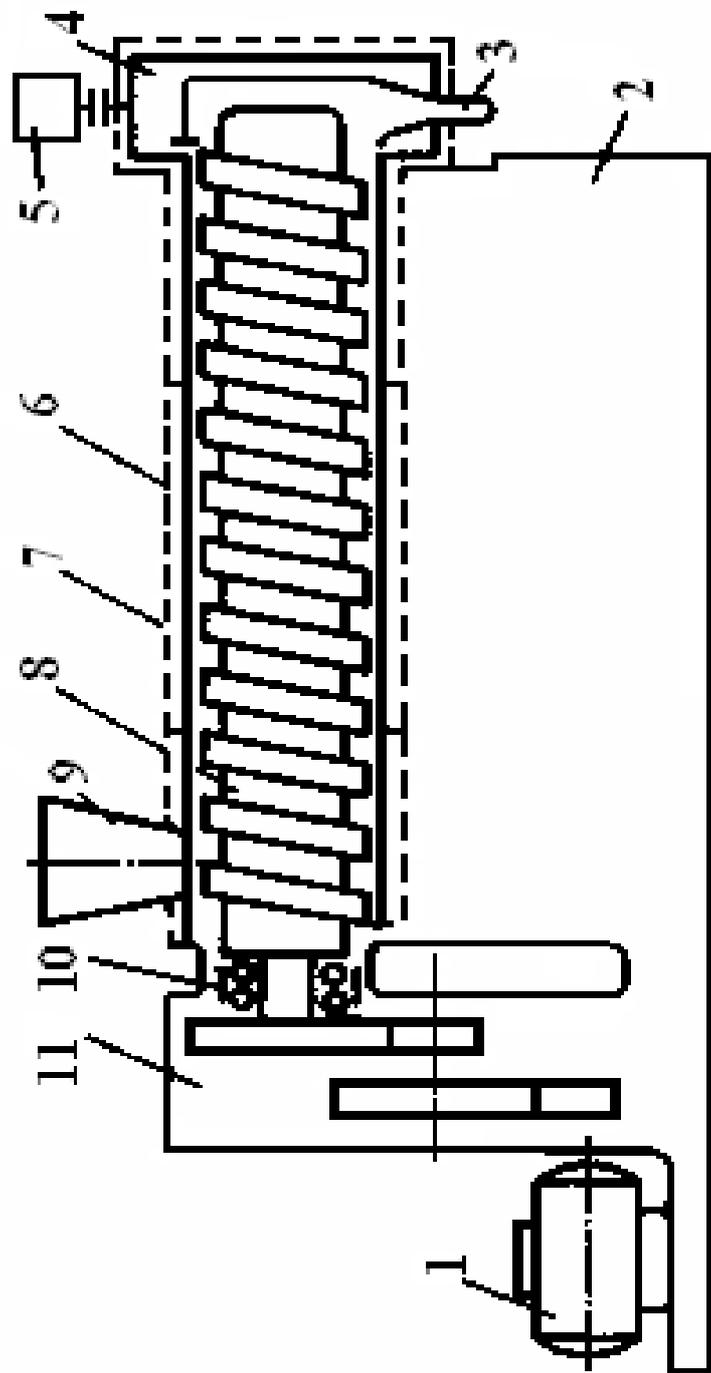


Рис. 1.4. Схема экструдера

правлению к головке 4. Давление расплава в головке измеряется датчиком давления 5. В результате трения между поверхностями шнека и цилиндра, а также за счет подвода тепла от нагревателей полимер по мере своего продвижения к головке плавится, сжимается и превращается постепенно в расплавленную массу, которая, пройдя головку, выдавливается в расплавопровод 3.

При движении массы полимера в экструдере важную роль играет трение между полимерным материалом и шнеком и материалом и цилиндром как средство, создающее условие для перемещения полимера по каналу шнека. Материал, загруженный в экструдер, будет вначале перемещаться в виде гранул твердого тела, затем смеси твердого тела с расплавом (полурасплав) и, наконец, в виде расплава.

В соответствии с этим длина шнека делится на основные зоны переработки, к которым относятся зона питания (загрузочная), зона сжатия (превращения) и зона дозирования (нагнетания).

1.2. Обзор электроприводов устройств плавления и формирования синтетических волокон

Анализ литературных источников, [3,4,5,6,8] а также изучение систем электроприводов ряда зарубежных фирм «Крупп», «Райфенхойзер», «Бармаг» (ФРГ) и производства стран СНГ [9,10,11] позволяют установить, что на машинах для производства синтетических волокон применяются, как правило, только электроприводы, имеющие плавное регулирование частоты вращения. Из них наибольшее распространение получили приводы, в которых регулирование частоты вращения осуществляется с помощью механических вариаторов, коллекторных двигателей переменного тока и двигателей постоянного тока, питаемых от автономных источников.[12,13].

Вращение шнека осуществляется от асинхронного короткозамкнутого двигателя через механический вариатор и редуктор. Изменение частоты

вращения выходного вала вариатора производится с помощью маховичка, вращаемого исполнительным механизмом. В экструдерах, работающих на низких частотах вращения, дополнительно устанавливается клиноременная передача, применение которой способствует лучшей компоновке установки и сокращению ее габаритов.

Вариаторы позволяют длительно передавать небольшую мощность, что ограничивает возможность их применения для приводов экструдеров. Кроме того, продолжительная работа с постоянной частотой вращения обуславливает специфический износ вариатора, снижая тем самым его эксплуатационные свойства и вызывая колебания частоты вращения выходного вала.[14].

Точность поддержания установленной частоты вращения в случае вариаторного привода определяется степенью жесткости механической характеристики приводного двигателя (4...6%) и величиной колебаний параметров питающей сети. Поэтому применение вариаторного привода для экструдеров целесообразно, когда к нему не предъявляются повышенные требования в отношении точности поддержания частоты вращения шнека, регулирования давления расплава в головке, а также не требуется плавного пуска экструдера и оперативного управления им в процессе работы.

Трехфазные коллекторные двигатели переменного тока (двигатели Шраге), отличающиеся плавным регулированием частоты вращения, находят применение в качестве привода экструдеров в зарубежной практике.

Регулирование частоты вращения двигателя Шраге производится двусторонним симметричным раздвижением щеток относительно осей фаз статорной обмотки. Достижимый диапазон при этом составляет обычно 1:3 при высокой плавности регулирования. Дальнейшее увеличение диапазона регулирования связано со значительным возрастанием габаритов и повышением стоимости двигателя.

К недостаткам двигателей Шраге следует отнести значительно большее лимитирующее влияние на их работу условий коммутации, чем в ма-

шинах постоянного тока. Это обстоятельство, а также наличие в двигателях трех обмоток приводят к значительному увеличению габаритов и стоимости их по сравнению с машинами постоянного тока.

Для привода экструдеров двигатели Шраге нашли применение, главным образом, благодаря возможности плавного регулирования частоты вращения, сравнительно высокому КПД; простой схеме управления и меньшим габаритам установки по сравнению с другими системами.

В экструдерах, работающих в широком диапазоне изменения производительности, требующих плавного пуска, снижения и увеличения частоты вращения, наиболее целесообразно применение электропривода постоянного тока. Такой привод оказывается единственно приемлемым там, где мощность выходит за рамки возможностей механических вариаторов скорости.

В качестве приводного электродвигателя используется, как правило, двигатель постоянного тока независимого возбуждения, частота вращения которого регулируется изменением напряжения якоря. Двигатель при этом работает в режиме постоянного момента, и мощность его выбирается из условия максимального момента на валу экструдера.

В качестве автономного источника питания двигателя раньше применялись электромашинные усилители, магнитные усилители и генераторы постоянного тока. За последние годы в результате бурного развития полупроводниковой техники тиристорные преобразователи переменного тока в постоянный почти везде вытеснили другие виды преобразователей и источников.[13,14,15].

В настоящее время подавляющее большинство электроприводов постоянного тока для экструдеров выполняется по системе тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока (ТП-ДПТ), применение которой

- сводит к минимуму количество вращающихся электрических машин,
- делает электропривод гибким и удобным в управлении,
- улучшает его динамические характеристики,

- повышает надежность и технико-экономические показатели в целом,
- приводит к сокращению производственных площадей в 1,5...2 раза.

1.3. Основные требования к регулируемому электроприводу плавильных устройств

Анализ работы экструдеров в производстве синтетических волокон, а также режимов формирования волокон позволяют сформулировать основные требования, предъявляемые к электроприводу [8,11,12,14]:

- диапазон изменения частоты вращения шнека должен быть ориентировочно равен диапазону изменения производительности экструдера;
- пуск привода должен быть плавным (желательно с нулевой скорости) и продолжаться 2...4 мин во избежание резкого нарушения температурного режима зон нагрева;
- электропривод должен обеспечивать работу экструдера в двух основных режимах: в режиме стабилизации скорости вращения шнека и в режиме стабилизации давления в головке. В первом случае во всем диапазоне изменения производительности необходимо автоматически поддерживать постоянной частоту вращения шнека с отклонением, равным 1...2 %, во втором – САР давления должна быть устойчивой во всех режимах и ограничивать имеющие место пульсации давления расплава в головке экструдера в установившемся режиме в пределах $\pm (0,2...0,6)$ МПа. Регулятор давления должен осуществлять ПИ (ПИД) – закон регулирования. Переход с одного режима работы на другой должен осуществляться безударно, т. е. без толчков частоты вращения шнека и бросков тока якоря;
- необходимо предусмотреть возможность ограничения максимальной частоты вращения шнека на любом уровне в диапазоне от нуля до номинального значения;
- в случае аварийного возрастания давления расплава, удерживающегося свыше 1...20 с, должна снизиться частота вращения привода, а затем – произойти его остановка. Последующее его включение должно про-

изводиться обслуживающим персоналом с нулевой частоты вращения. Время, в течение которого допустимо превышение давления сверх аварийного, устанавливается в каждом конкретном случае отдельно;

- электропривод должен быть снабжен необходимыми блокировками, обеспечивающими определенную последовательность включения и отключения вспомогательных устройств (насосов подачи смазки в редуктор, охлаждающей воды; вентиляторов, подающих в электродвигатель охлаждающий воздух; дозирующих насосов, отбирающих расплав и т. д.), а также сигнализацию и отключение привода при наступлении аварийных ситуаций;

- электропривод должен быть компактным, экономичным, надежным и удобным в эксплуатации.

Выводы по главе 1

1. Изучено современное состояние плавильных устройств для формирования синтетических волокон и их электроприводов. Определено, что в качестве плавильных устройств на современных машинах для формирования синтетических волокон применяются плавильные головки с поддавливающим шнеком и экструдеры. Рассмотрены схемы, особенности работы, и основные характеристики плавильной головки экструдера показано, что в силу своей универсальности они нашли более широкое применение.

2. Проведен обзор электроприводов устройств плавления и формирования синтетических волокон, показано, что на современных машинах применяются только электроприводы, имеющие плавное регулирование скорости вращения, как правило, по системе управляемый выпрямитель-двигатель постоянного тока.

3. Определены основные требования к регулируемому электроприводу плавильных устройств: диапазон регулирования скорости равен диапазону изменения производительности экструдера; пуск должен быть плавным; должен обеспечить работу устройства в режимах стабилизации скорости и давления в головке экструдера.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЛАВИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

2.1. Анализ работы и определения мощности привода плавильных устройств

2.1.1. Изучения процесса переработки синтетических смол
Современные экструдеры для переработки синтетических смол получают тепло за счет превращения механической энергии в тепловую и за счет внешнего обогрева. При этом используется высокотемпературный теплоноситель или электрический ток. Практика эксплуатации экструдеров показала, что при переработке некоторых термопластичных полимеров можно вести процесс плавления без внешнего обогрева. При этом качество продукта получается вполне удовлетворительным, а необходимая для расплавления полимера энергия выделяется за счет превращения механической энергии в тепловую. Подобный режим наблюдается при повышенной частоте вращения шнека. Большинство экструдеров в настоящее время работает при политропном режиме, т. е. с подводом и отводом тепловой энергии [5,16].

Простейший анализ потока в экструдере построен на предположении, что в зоне дозирования расплав полимера находится в изотермических условиях. Объемная производительность зоны дозирования в этих условиях может быть выражена приближенной формулой [16]

$$G = \alpha n - (\beta/\mu)P, \quad (2.1)$$

где α , β – параметры, зависящие от размеров канала шнека; n – частота вращения шнека; μ – динамическая вязкость расплава; P – приращение давления в дозирующей зоне.

В случае решения уравнения движения для адиабатического процесса, когда теплопередача через стенку цилиндра отсутствует, формула для определения объемной производительности принимает вид [16]

$$G = \alpha n - \left(\frac{\varepsilon\beta}{c}\right) \frac{n^2 P}{G\Delta T}, \quad (2.2)$$

где ε – параметр канала шнека (такого же типа, как α и β); c – удельная теплоемкость расплава; ΔT – приращение температуры в дозирующей зоне.

Уравнения (2.1) и (2.2), будучи разрешенными относительно P , являются статическими характеристиками экструдера как объекта регулирования:

$$P = -\frac{\mu}{\beta}G + \frac{\alpha\mu}{\beta}n;$$

$$P = \frac{c\Delta T}{\varepsilon\beta n^2}G^2 + \frac{\alpha c\Delta T G}{\varepsilon\beta} \frac{1}{n}. \quad (2.3)$$

Взятые при различных n уравнения образуют семейства статических характеристик, позволяющие судить о наиболее важных параметрах рабочего процесса: производительности экструдера, давлении расплава в головке и частоте вращения шнека.

На рис.2.1 представлено семейство статических характеристик, снятое экспериментально на экструдере с диаметром шнека, равным 30 мм. Характеристики имеют вид прямых линий, что хорошо согласуется с уравнением (2.3).

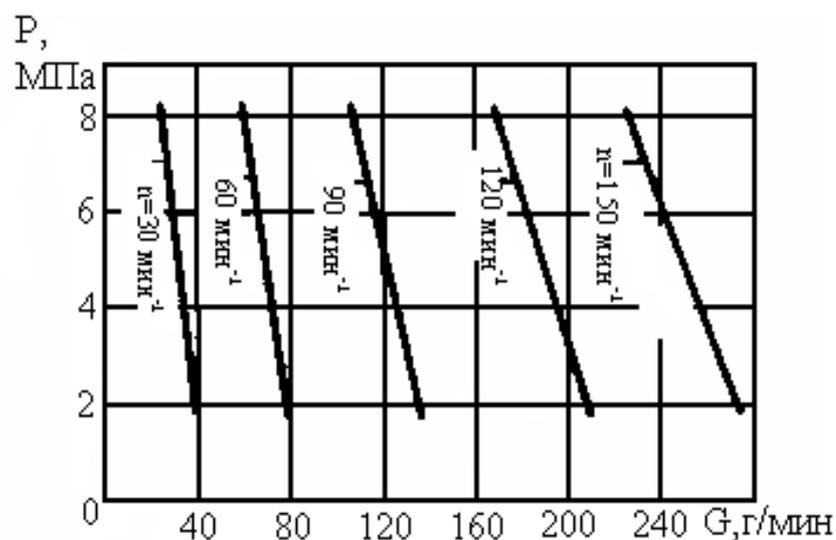


Рис. 2.1. Семейство статических характеристик экструдера с диаметром шнека 30 мм

Величина $k_n = \Delta P / \Delta n$ при $G = \text{const}$ может рассматриваться как коэффициент передачи экструдера по частоте вращения, величина $k_G = \Delta P / \Delta G$ при $n = \text{const}$ – соответственно как коэффициент передачи экструдера по производительности. Значение этих коэффициентов позволяет судить о регулировочных свойствах экструдера, о его чувствительности к таким возмущениям как изменение частоты вращения шнека и отбора расплава.

Г. Шенкель [7], обобщая с помощью законов моделирования обширный экспериментальный материал, установил, что производительность современного одношнекового экструдера хорошей конструкции, располагающего достаточно мощным приводом, можно определить по формуле

$$G = k \cdot 10^{-7} D^m,$$

где G – производительность, кг/с; D – диаметр шнека, мм; $k = 5,84$ – опытный коэффициент; m – коэффициент, определяемый неравенством $2 \leq m < 3$.

Величина m зависит от перерабатываемого полимера и режима работы экструдера. На экструдерах, применяемых в производстве синтетических волокон и перерабатывающих поликапроамид $m = 2,46 \dots 2,58$.

2.1.2. Определения потребляемой

и установленной мощности привода устройства

Ввиду недостаточной разработанности общей теории экструзии в настоящее время не существует аналитической зависимости, потребляемой шнеком мощности от параметров процесса, конструкции и режимов работы экструдера. Наиболее удовлетворительно поддается математическому описанию лишь работа последней дозирующей зоны. Для нее могут быть применены формулы, полученные при анализе работы винтовых насосов. Мощность, потребляемая шнеком в этом случае, может быть определена из следующих уравнений:

для изотермического процесса –

$$N = \varepsilon \mu n^2 \Delta z + \alpha n P, \quad (2.4)$$

для адиабатического процесса –

$$N = cG\Delta T + GP, \quad (2.5)$$

где Δz – участок развернутой длины канала шнека.

Установленная мощность привода экструдера зависит от нескольких факторов: диаметра и геометрии шнека, вида и характеристики перерабатываемого полимера, конечных параметров расплава и применяемого режима экструзии (с внешним обогревом или без него). Кроме того, необходимо учитывать также и потери мощности в редукторе и других передачах.

Применение уравнений (2.4) и (2.5) ограничивается трудностью вычисления вязкости расплава в канале шнека и приращения температуры, так как неизвестна истинная температура расплава. Поэтому при оценке необходимой максимальной мощности привода приходится дополнять теоретические расчеты сведениями из практики.

На рис. 2.2 показана зависимость мощности привода от диаметра шнека для современных экструдеров. Автор [7] рекомендует пользоваться этим графиком для ориентировочной оценки, так как, по его мнению, расчетные значения мощностей не должны отличаться от приводимых на этом графике более, чем на 20%.

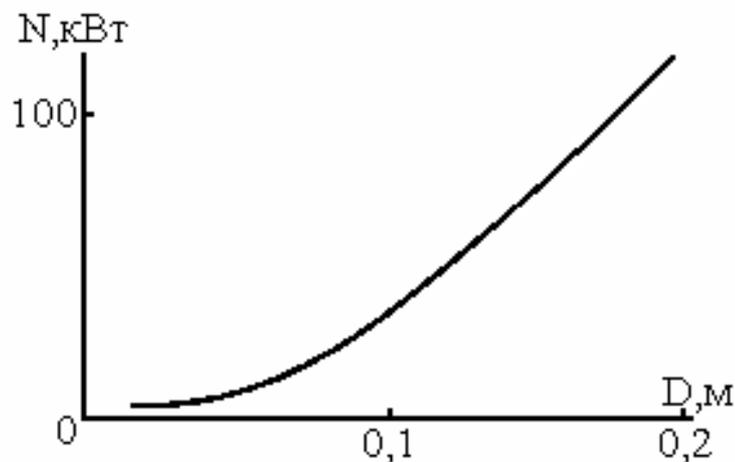


Рис. 2.2. Зависимость мощности привода от диаметра шнека

Несмотря на большое разнообразие конструкций одночервячных экструдеров в [5,7] предложена простая, но достаточно надежная формула для определения мощности привода экструдера с любым диаметром шнека

$$N = 1,08 \cdot 10^4 D^{2,5},$$

где N – мощность привода, кВт; D – диаметр шнека, м.

В качестве «формулы будущего» рекомендуется уравнение вида

$$N = 1,44 \cdot 10^4 D^{2,5}.$$

Хотя приведенные формулы являются простыми и имеют определенную практическую ценность, все же не следует забывать, что они достаточно приближенные и далеко не универсальны. Поэтому в основном, как рекомендуется в [10], потребляемая мощность для экструзии полимера должна быть получена на оборудовании, геометрически подобном предложенному. Затем с помощью уравнений мощности следует перейти от одного масштаба к другому [7,10].

На рис. 2.3 – 2.6 для некоторых экструдеров приведены экспериментальные зависимости мощности на валу шнека от частоты вращения.

Характеристики сняты при переработке поликапроамида плотностью $1,14 \text{ г/см}^3$ при средней температуре расплава в головке около 270°C . Анализ приведенных характеристик показывает, что с возрастанием частоты вращения мощность и момент на валу шнека возрастают. Характер возрастания мощности близок к квадратической зависимости от частоты вращения, что хорошо согласуется с уравнением (2.4) для изотермического процесса.

Как следует из рис. 2.3, значительное влияние на потребляемую шнеком мощность оказывает температурный режим зон нагрева экструдера и в особенности, как это установлено многочисленными экспериментами, температура первой зоны. Работа на пониженных температурах зон нагрева в рассматриваемом случае вызвала увеличение мощности, потребляемой шнеком на 30...40%.

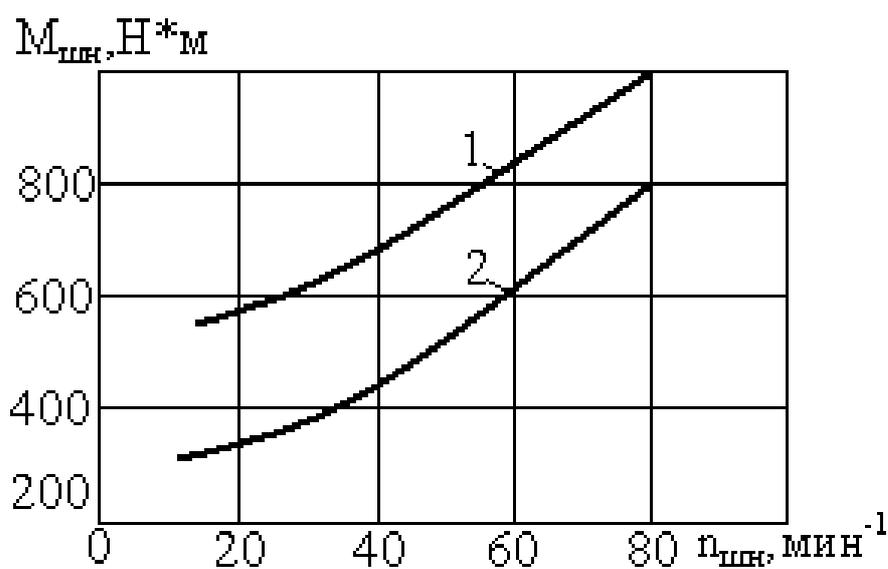
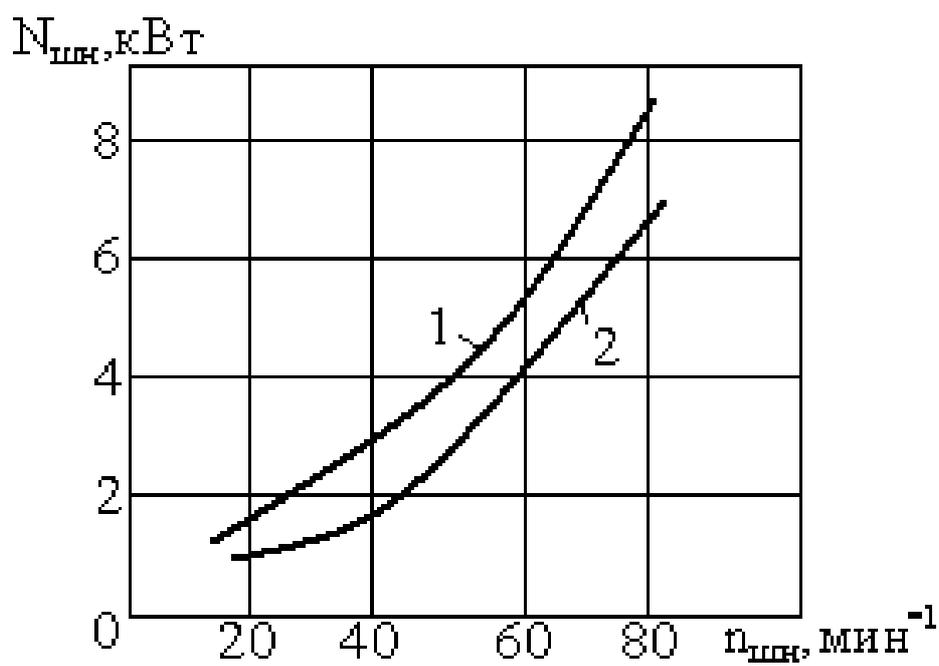


Рис. 2.3. Зависимость мощности (а) и момента (б) на валу шнека от частоты вращения для экструдера с диаметром шнека 63 мм и длиной 24D:

1 – $T_1 = 248^\circ\text{C}$; $T_2 = 263^\circ\text{C}$; $T_3 = 256^\circ\text{C}$; $T_4 = 247^\circ\text{C}$; $T_5 = 247^\circ\text{C}$; $T_p = 245^\circ\text{C}$;
 2 – $T_1 = 245^\circ\text{C}$; $T_2 = 286^\circ\text{C}$; $T_3 = 281^\circ\text{C}$; $T_4 = 281^\circ\text{C}$; $T_5 = 285^\circ\text{C}$;
 $T_p = 268^\circ\text{C}$;

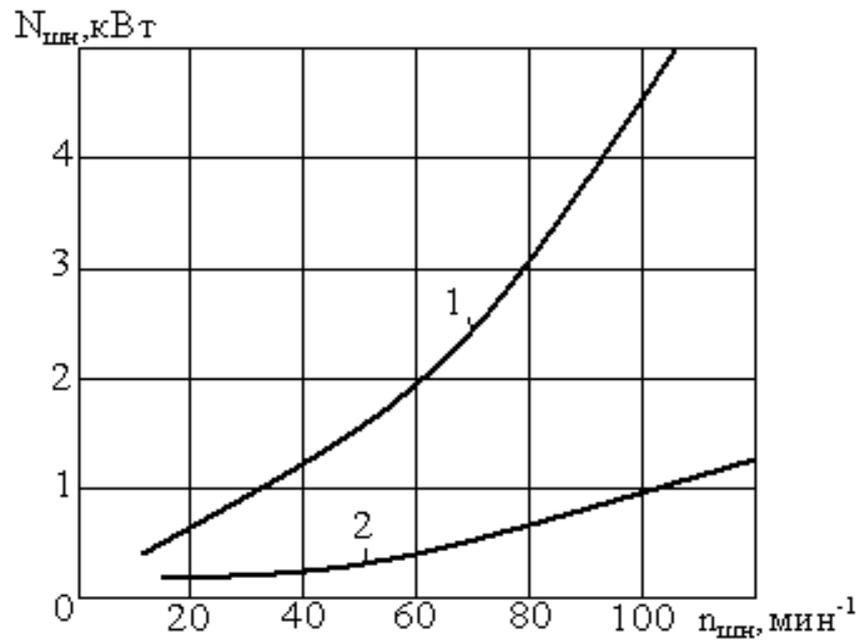
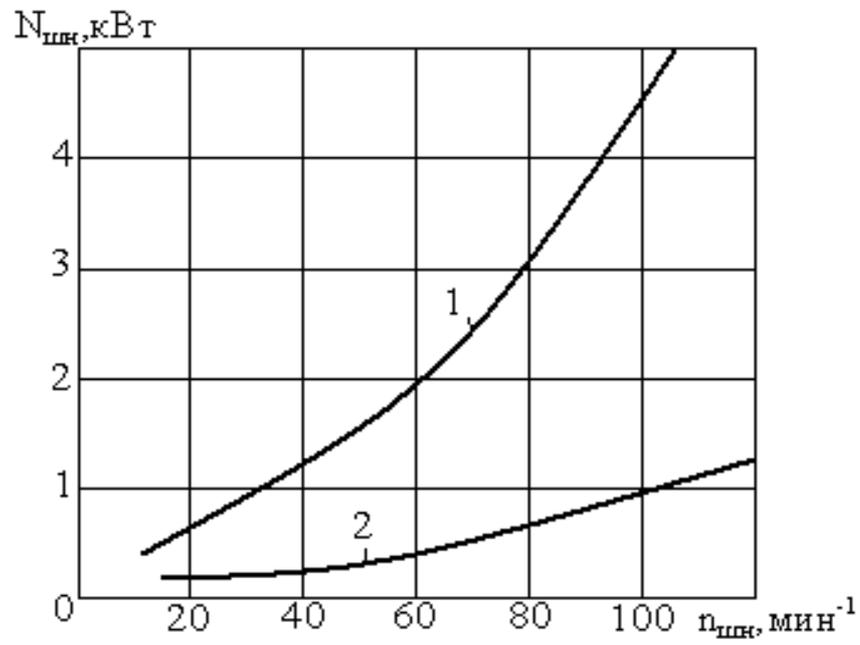


Рис.2.4. Зависимости мощности (а) и момента (б) на валу шнека от частоты вращения:

- 1 – для экструдера с диаметром шнека 50 мм и длиной 20D;
- 2 – для экструдера с диаметром шнека 30 мм и длиной 20D

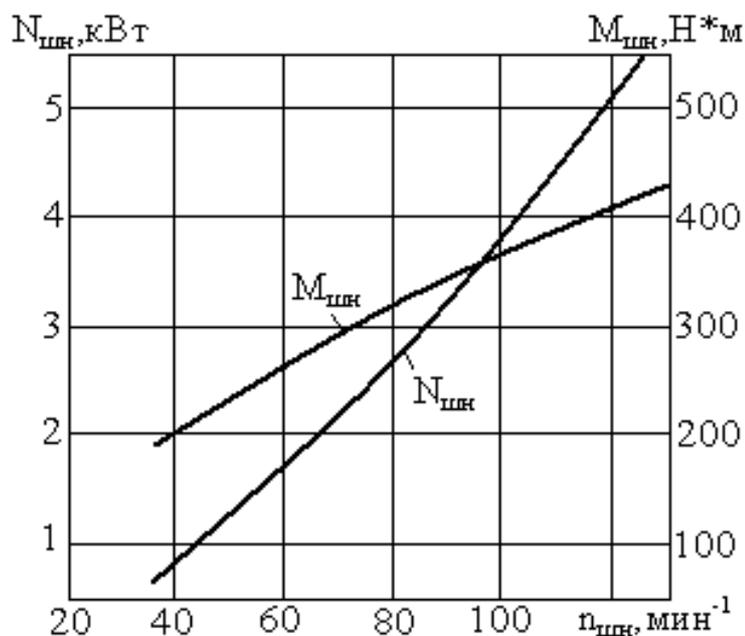


Рис.2.5. Зависимости мощности и момента на валу шнека от частоты вращения для экструдера с диаметром шнека 45 мм и длиной 17 D

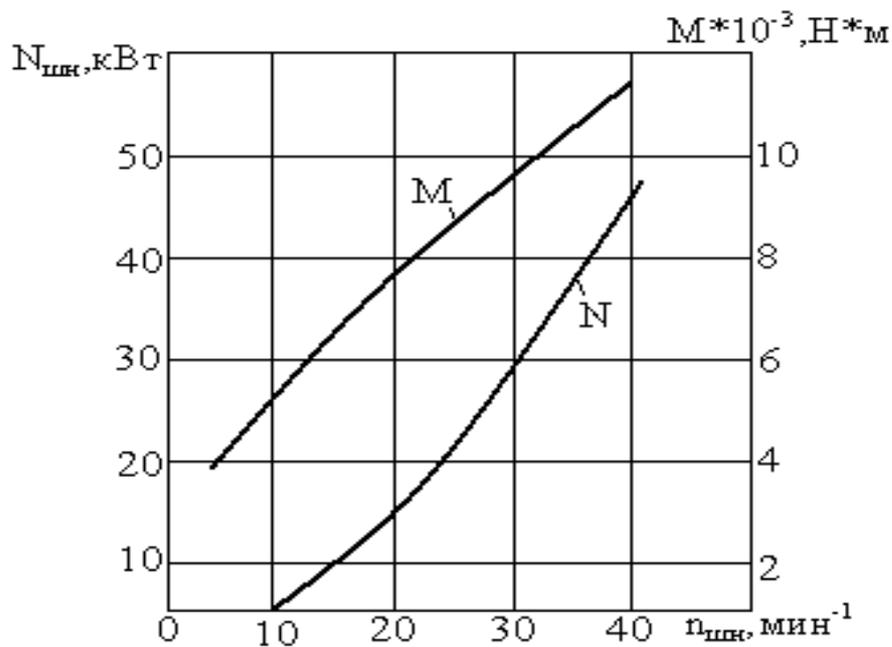


Рис.2.6. Зависимости мощности и момента на валу шнека от частоты вращения для экструдера с диаметром шнека 160 мм и длиной 25 D

При выборе мощности приводного двигателя экструдера наряду с мощностью, потребляемой шнеком, учитывать потери в двигателе, редукторе и других передаточных звеньях, а также предусматривать определенный запас мощности, необходимый для получения оптимальных динамических характеристик привода. Нужно принимать во внимание, что если двигатель работает с самовентиляцией, то при снижении частоты его вращения охлаждение двигателя ухудшается и, следовательно, необходимо дополнительно завышать его мощность.

В табл. 2.1 приведены мощности приводных двигателей экструдеров фирмы «Бармаг» (ФРГ) [8].

Таблица 2.1

Диаметр (типораз- мер), мм	Технические данные экструдеров фирмы «Бармаг» Количество зон нагрева	Частота вращения, мин ⁻¹		Установленная мощность, кВт	
		min	max	Приводного электродви- гателя	нагрева
20	3	25	150	1,35	2,5
25	3	25	140	2	3
30	3	24	120	3	4,5
45	4	20	100	7,5	9,8
50	4	20	100	11	11
60	5	20	100	16	16
75	5	18	90	20	20
90	5	16	80	29	28,8
120	6	15	75	66	48
150	6	15	75	130	75,4

Примечание. Длина шнека для всех типоразмеров $L = 24D$

При рассмотрении табл. 2.1 следует иметь в виду, что эти экструдеры предназначены для переработки любых полимеров и, следовательно, в некоторых частных случаях мощности приводных двигателей могут оказаться явно завышенными.

2.2. Анализ динамических режимов экструдера

2.2.1. Составления уравнения динамики работы экструдера

Для описания поведения экструдера в динамических режимах воспользуемся результатами, полученными в работе [10]. В этой работе для изучения динамики течения расплава в канале шнека экструдера рассматриваются уравнения движения и энергии применительно к расплаву полимера, текущему в прямоугольном канале шнека экструдера.

В качестве модели расплава принимается однофазная химически однородная изотропная вязкая несжимаемая ньютоновская жидкость. При такой модели удастся сделать независимым уравнение движения от уравнения энергии и получить для участка канала следующее уравнение динамики:

$$\delta Q(p) = K'_1 \delta n(p) - K'_2 \frac{\partial}{\partial z} \delta P(z; p), \quad (2.6)$$

где $\delta Q(p)$; $\delta n(p)$; $\frac{\partial}{\partial z} \delta P(z;p)$ – изображения по Лапласу соответственно относительного приращения производительности, частоты вращения шнека и градиента давления расплава на рассматриваемом участке (зоне) канала; z – координата вдоль оси канала; K'_1 ; K'_2 – некоторые коэффициенты.

Полученное уравнение свидетельствует о том, что те участки канала шнека экструдера, в которых находится расплав или, в крайнем случае полурасплав полимера, с динамической точки зрения могут рассматриваться как безынерционные звенья. Это положение может быть отнесено, как правило, ко всем зонам экструдера кроме первой, заполненной частично или полностью гранулами. В первой зоне гранулы термопластичности материала находятся в нерасплавленном состоянии, и полимер не смачивает металлических стенок. Поступающий материал заполняет винтовой канал шнека и продвигается по нему. Размеры капроновой крошки составляют в среднем $2 \times 3 \times 4$ мм³. При таких размерах частиц поступающего из бункера материала относительное движение отдельных гранул в загрузочной зоне шнека отсутствует и материал ведет себя как твердый упругий стержень,

поэтому для первой зоны экструдера уравнение (2.6) неприменимо.

Учитывая, однако, то обстоятельство, что это уравнение, если отвлечься от конкретных значений коэффициентов; K_{11} ; K_{12} , устанавливает общую связь между расходом движущегося материала, скоростью его движения и обобщенной силой, действующей на материал, можно для первой зоны сохранить вид этого уравнения, обозначив коэффициенты его как неизвестные функции $K_{11}(p)$ и $K_{12}(p)$.

В этом случае система уравнений динамики для трехзонного экструдера может быть записана следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \delta Q_1(p) &= K_{11} \delta n(p) - K_{12} \frac{\partial}{\partial z} \delta P_1(z; p); \\ \delta Q_2(p) &= K_{21} \delta n(p) - K_{22} \frac{\partial}{\partial z} \delta P_2(z; p); \\ \delta Q_3(p) &= K_{31} \delta n(p) - K_{32} \frac{\partial}{\partial z} \delta P_3(z; p). \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

В работе [10] показано, что с некоторыми допущениями, хорошо согласующимися с практикой, система уравнений (2.7) может быть сведена к уравнению динамики

$$\mathcal{P}_3(p) = W_1(p) \delta n(p) - W_2(p) \delta Q(p) \quad (2.8)$$

где

$$W_1(p) = L \left[\frac{K_{11}(p)}{K_{12}(p)} + \frac{K_{21}}{K_{22}} + \frac{K_{31}}{K_{32}} \right];$$

$$W_2(p) = L \left[\frac{1}{K_{12}(p)} + \frac{1}{K_{22}} + \frac{1}{K_{32}} \right];$$

Здесь L – длина канала шнека в разделах зоны нагрева.

Уравнение (2.8) включает в себя выходную величину $\delta P_3(p)$ и поэтому оно может рассматриваться как общее уравнение динамики экструдера по давлению расплава, а входящие в него функции $W_1(p)$ и $W_2(p)$ – как частичные передаточные функции соответственно по частоте вращения и производительности экструдера.

Приведенные выше соображения дают основание рассматривать экс-

тродер как объект управления, одной из регулируемых величин которого является относительное приращение давления расплава на выходе из последней зоны. Регулирующей величиной при этом будет относительное приращение частоты вращения шнека, а возмущением относительное изменение отбора расплава. Уравнение (2.8) устанавливает общую связь в динамических режимах между относительным приращением основных параметров процесса: производительности и давления расплава на выходе из экструдера и переменной процесса – частотой вращения шнека. Это уравнение является линейным относительно всех возмущающих функций, входящих в него, что, в свою очередь, позволяет применить принцип суперпозиции при изучении действия на экструдер нескольких возмущений одновременно.

2.2.2. Основные динамические режимы экструдера

Рассмотрим наиболее характерные с точки зрения динамики режимы экструдера. При работе экструдера на неизменное количество дозирующих насосов, частота вращения которых не изменяется, очевидно, $\delta Q(p) = 0$.

Уравнение динамики для этого режима принимает вид

$$\delta P_3(p) = W_1(p)n \delta(p). \quad (2.9)$$

Если экструдер работает на постоянное гидравлическое сопротивление R_r , то между этим сопротивлением и производительностью существует соотношение $\delta Q(p) = \delta P_3(p)/R_r$. Уравнение динамики для этого случая может быть представлено в виде:

$$\delta P_3(p) = \frac{W_1(p)}{1 + \frac{W_2(p)}{R_r}} \delta n(p). \quad (2.10)$$

В случае работы экструдера на свободный выход $\delta P_3(p) = 0$ и уравнение динамики может быть представлено следующим образом:

$$\delta Q(p) = \frac{W_1(p)}{W_2(p)} \delta n(p). \quad (2.11)$$

И, наконец, если экструдер работает с постоянной частотой враще-

ния, $\delta n(p) = 0$, его уравнение динамики принимает вид

$$\delta P_3(p) = -W_2(p) \delta Q(p). \quad (2.12)$$

Структурные схемы, соответствующие уравнениям (2.8) – (2.12), приведены на рис. 2.7.

Так как в настоящее время отсутствует теория, описывающая протекание процессов динамики в зоне экструдера, где находятся гранулы полимера, теоретический вид функций $K_{11}(p)$ и $K_{12}(p)$ неизвестен, поэтому единственно приемлемым путем изучения динамики экструдеров являются экспериментальные исследования.

Таким образом, полученные уравнения динамики, помимо общей оценки экструдера как объекта управления, позволяют осуществить широкий экспериментальный подход к изучению динамических свойств экструдера по производительности и давлению расплава на выходе.

Так, исследования, построенные по структурной схеме рис. 2.7,в, при работе экструдера на постоянное гидравлическое сопротивление, позволяют изучать динамические свойства его при изменении управляющего воздействия (частоты вращения шнека), а эксперименты, проведенные по структурным схемам рис. 2.7,в, дают возможность в уравнении динамики экструдера (2.8) найти частичные передаточные функции $W_1(p)$, $W_2(p)$.

2.3. Определения принципа построения электропривода, выбора регулятора и закона регулирования

Для определения принципа построения электропривода и выбора регулятора и закона регулирования давления расплава на выходе из экструдера рассмотрим в общем виде структурную схему системы автоматического регулирования давления, построенную на основании структурной схемы экструдера (рис. 2.8).

Для датчика давления расплава, передаточная функция которого $W_d(p)$, в качестве выходной величины принимается сигнал постоянного тока $\delta I(p)$, а для при вода экструдера $W_n(p)$ входным и выходным сигналами

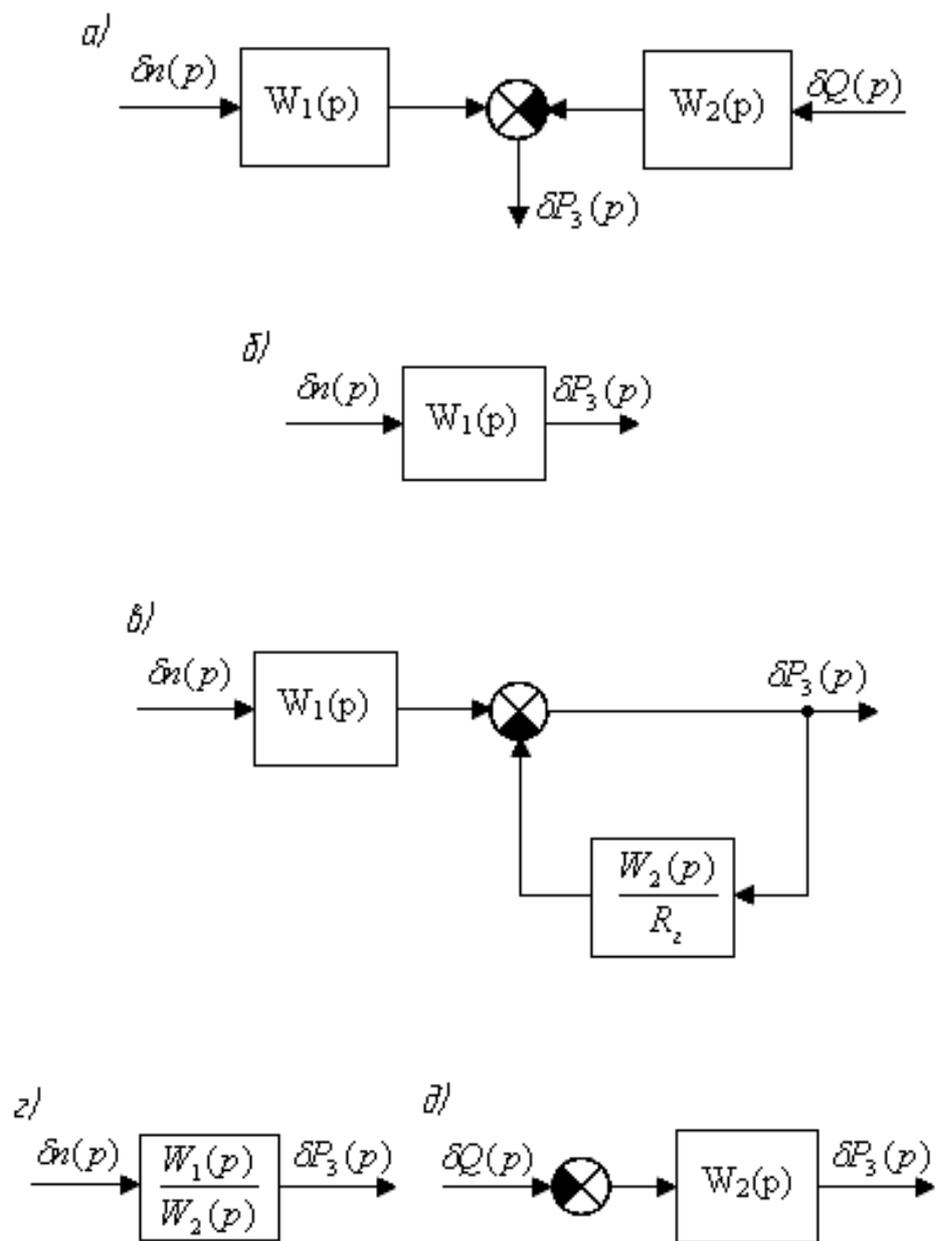


Рис. 2.7. Структурные схемы экструдера:
a – общая; *б* – при работе на неизменное количество дозирующих насосов;
в – при работе на постоянное гидравлическое сопротивление головки;
г – при работе на свободный выход;
д – при работе с постоянной частотой вращения

являются соответственно изменения задающего напряжения $\delta U(p)$ и частоты вращения шнека $\delta n(p)$.

В соответствии с этим уставка регулятора давления $W_p(p)$ обозначена на схеме как $\delta I_0(p)$.

Для рассматриваемой схемы может быть составлена следующая система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \delta n(p) &= W_p(p)W_n(p)[\delta I_0(p) - \delta I(p)]; \\ \delta P_3(p) &= W_1(p)\delta n(p) - W_2(p)\delta Q(p); \\ \delta I(p) &= W_\delta(p)\delta P_3(p), \end{aligned} \right\}$$

решив которую относительно выходной величины получим

$$\delta P_3(p) = \frac{W_p(p)W_n(p)W_1(p)\delta I_0(p) - W_2(p)\delta Q(p)}{1 + W_p(p)W_n(p)W_1(p)W_\delta(p)}.$$

Статическая ошибка рассматриваемой САР может быть найдена из этого уравнения путем перехода к пределу

$$\mathcal{P}_3(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \mathcal{P}_3(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \delta P_3(p) = \frac{W_p(0)W_n(0)W_1(0)\delta I_0(p) = (\infty) - W_2(0)\delta Q(\infty)}{1 + W_p(0)W_n(0)W_1(0)W_\delta(0)}, \quad (2.13)$$

где $\delta P_3(\infty); \delta I_0(\infty); \delta Q(\infty)$ – установившиеся значения относительных изменений соответственно регулируемой величины, уставки регулятора и нагрузки при $t \rightarrow \infty$; $W_1(0); W_2(0); W_p(0); W_n(0); W_\delta(0)$ – значения передаточных функций структурных звеньев при $p = 0$.

Из уравнения (2.13) вытекает, что статические ошибки САР давления расплава будут:

по заданию –

$$\delta P_3(\infty)_3 = \frac{W_p(0)W_n(0)W_1(0)\delta I_0(\infty)}{1 + W_p(0)W_n(0)W_1(0)W_\delta(0)}$$

по нагрузке –

$$\delta P_3(p) = \frac{-W_2(0)\delta Q(\infty)}{1 + W_p(0)W_n(0)W_1(0)W_\delta(0)}$$

Для выполнения условия $\delta P_3(\infty)_н = 0$ необходимо, чтобы $W_p(0) \rightarrow \infty$. Следовательно, для получения нулевой статической ошибки САР давления

расплава в головке экструдера регулятор системы должен обладать астатическими свойствами. Статическая ошибка САР по заданию при этом будет определяться выражением

$$\delta P_3(\infty)_3 = \frac{\delta I_0(\infty)}{W_\delta(0)}.$$

Исходя из приведенных соображений, для САР давления расплава в головке экструдера целесообразно применять ПИ-регулятор, как наиболее простой из регуляторов, обеспечивающих астатическое регулирование при удовлетворительном быстродействии.

Электропривод, выполненный по структурной схеме рис.2.8, обладает одним существенным недостатком: он не работоспособен, пока в головке экструдера нет давления расплава. С помощью этой схемы экструдер не может быть запущен в работу так же, как не может работать и в случае отсутствия подачи гранулята. Этот недостаток устранен в структурной схеме рис. 2.9.

В схему введены дополнительно датчик частоты вращения (тахогенератор) с передаточной функцией $W_G(p)$ и переключатель в цепи управления SA . При запуске экструдера выключатель устанавливается в положение 1. При этом разрывается главная обратная связь САР по давлению расплава, и привод может быть запущен от отдельного источника опорного напряжения G .

Контроль наличия давления расплава в головке осуществляется по прибору PA . С течением времени, когда в головке экструдера устойчиво разовьется давление расплава, переключатель SA переводится в положение 2, что соответствует ранее рассмотренному режиму работы системы регулирования давления. В электроприводе должно быть предусмотрено схемное решение, исключающее толчки тока двигателя и частоты вращения при переводе переключателя из положения 1 в положение 2 и обратно.

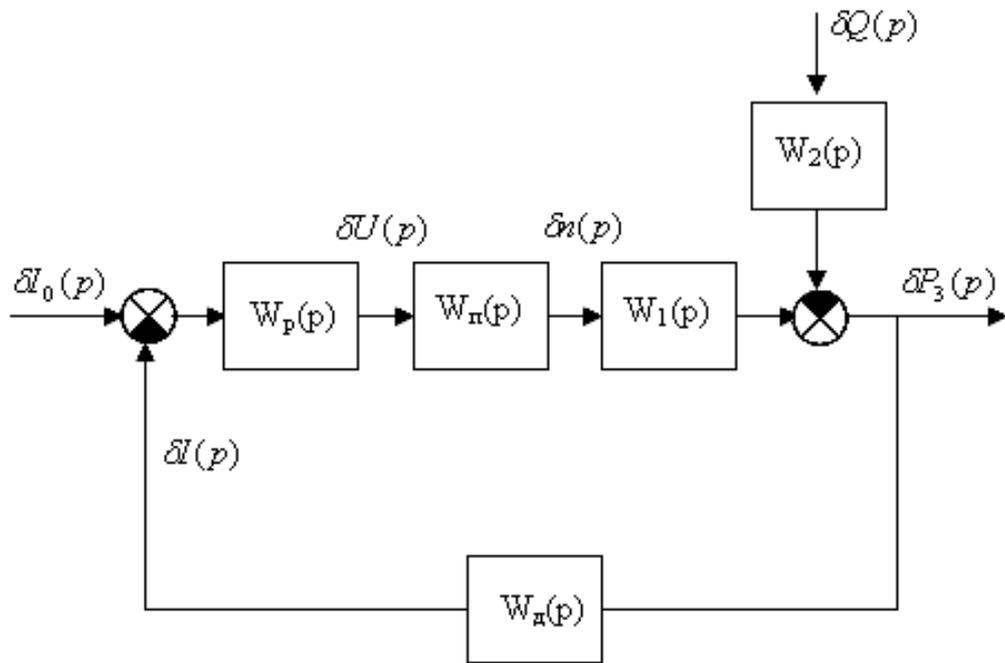


Рис. 2.8. Структурная схема САР давления экструдера

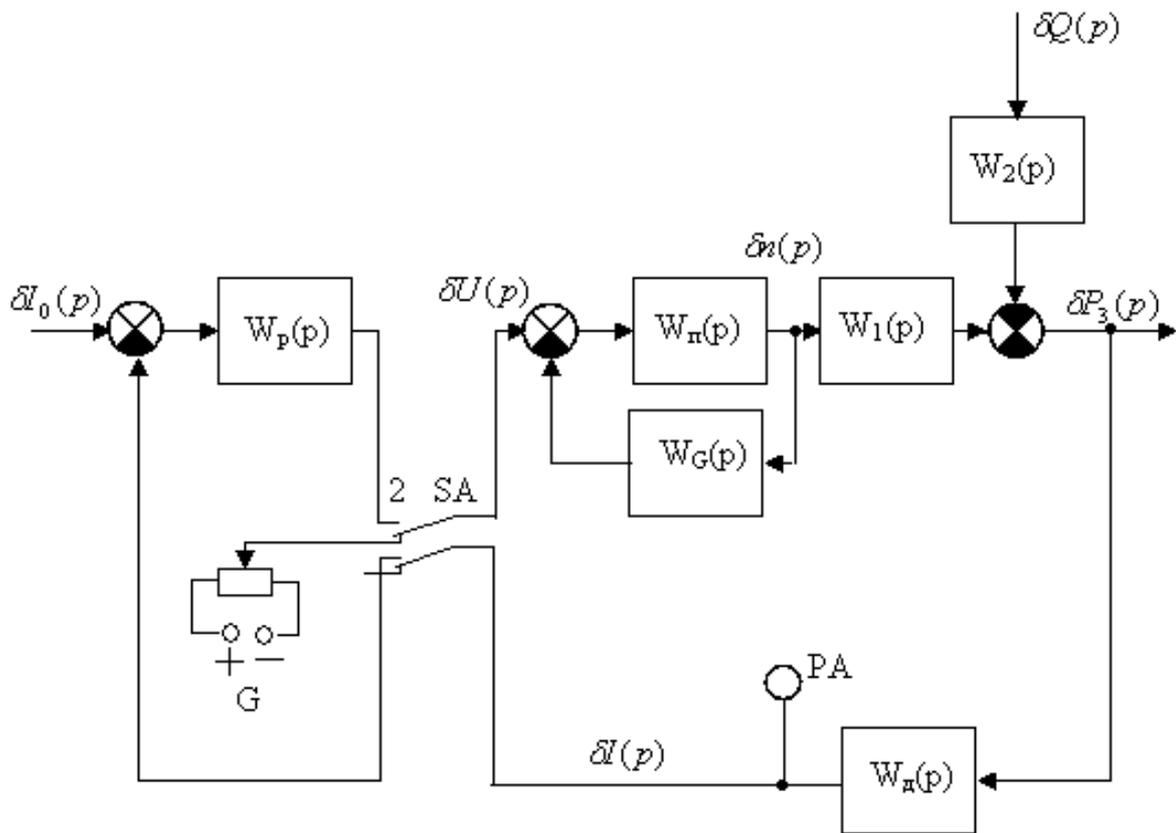


Рис.2.9. Общая структурная схема САР давления экструдера

На основе последней структурной схемы, которая включает в себя все основные элементы САР давления в наиболее общем виде, принципиально может быть построена любая конкретная САР с тем или иным приводом экструдера и датчиком давления расплава.

Система электропривода играет существенную роль в обеспечении эффективной работы экструдера. Частота вращения шнека и температура являются неизменными компонентами уравнений, описывающих процессы переработки полимера в экструдере.

Изменения частоты вращения, а также температуры исходного сырья, расплава и соприкасающихся с ним элементов конструкции сказывается на производительности и экономичности экструдера, равномерности физико-химических свойств и качестве конечного продукта переработки – расплава полимера. Показано, что для САР давления расплава в головке экструдера целесообразно применять ПИ-регулятор, как наиболее простой из регуляторов, обеспечивающих астатическое регулирование при удовлетворительном быстродействии.

Выводы по главе 2

1. Изучен процесс переработки синтетических смол на основе статических характеристик связывающих производительности экструдера, давления расплава в головке и частоту вращения шнека.
2. Установлены основные соотношения для определения потребляемой и установленной мощности привода экструдера. Показано, что при этом также необходимо учитывать потери в двигателе и редукторе, предусматривать определенный запас мощности для получения оптимальных динамических свойств привода.
3. Проведен анализ динамических режимов экструдера на основе составления уравнения динамики. Полученные уравнения динамики, помимо общей оценки экструдера как объекта управления, позволяет осуществить широкий экспериментальный подход к изучению динамических свойств экструдера по производительности и давлению расплава на выходе.

4. Определены принципы построения электропривода шнека, выбора регулятора и закона регулирования давления расплава на выходе экструдера. Показано, что система электропривода играет существенную роль в обеспечении эффективной работы экструдера. Частота вращения шнека и температура являются неизменными компонентами уравнений, описывающих процессы переработки полимера в экструдере. Изменения частоты вращения, а также температуры исходного сырья, расплава и соприкасающихся с ним элементов конструкции сказывается на производительности и экономичности экструдера, равномерности физико-химических свойств и качестве конечного продукта переработки – расплава полимера.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭКСТРУДЕРА

3.1. Регулируемый электропривод постоянного тока экструдера

Экструдерами типа РВШ-63 оснащена формовочно-приемная машина марки МФ-600-КШ24, предназначенная для формования, приема и наматывания на бобины невытянутых капроновых нитей текстильного назначения [3,8].

Упрощенная принципиальная схема экструдера типа РВШ-63 приведена на рис. 3.1. Экструдер приводится во вращение двигателем постоянного тока $M1$, питаемым от тиристорного преобразователя U . Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется путем изменения напряжения якоря.

Управляющим сигналом для тиристорного преобразователя является разность двух напряжений, одно из которых является задающим, а другое – напряжением, пропорциональным частоте вращения двигателя $M1$. Задающее напряжение формируется сельсином – датчиком BG , преобразуется трансформатором $TV2$, выпрямляется мостом $VD3 - VD6$ и выделяется на резисторе $R6$. Напряжение обратной связи вырабатывается тахогенератором G , и часть этого напряжения также выделяется на резисторе $R6$. Разно

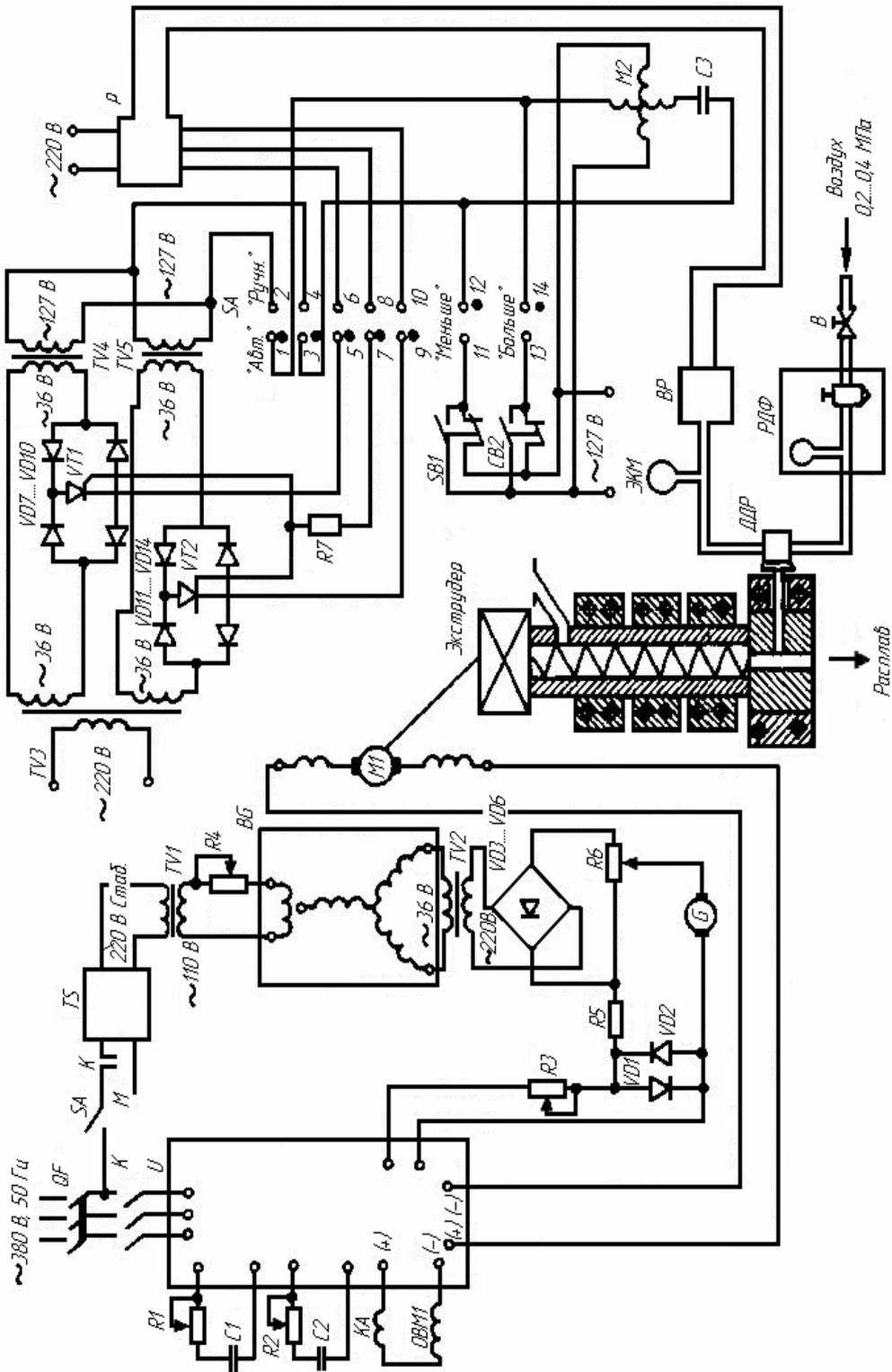


Рис.3.1.1. Схема электропривода экструдера РВШ – 63

стный сигнал через резистивный делитель $R3$, $R5$ и защитные диоды $VD1$ – $VD2$ поступает на вход тиристорного преобразователя U .

Управление сельсином-датчиком производится с помощью серводвигателя $M2$, который может управляться либо вручную, либо автоматически. При ручном управлении ключ SA переводится в положение «ручное». Реверсивная обмотка двухфазного серводвигателя $M2$ при нажатии кнопок $SB1$ или $SB2$ получает напряжения, отличающиеся по фазе на 180° , в результате чего серводвигатель меняет направление вращения. Когда экструдер необходимо перевести в режим автоматического управления частотой вращения, переключатель SA переводится в положение «автоматическое».

В этом случае управление серводвигателем осуществляется от регулятора давления P через блок бесконтактного управления серводвигателем, выполненный на трансформаторах $TV3$ – $TV5$, диодах $VD7$ – $VD14$ и тиристорах $VT1$, $VT2$.

Регулятор давления P имеет трехпозиционный выход со средней точкой, в цепь которой включен ограничительный резистор $R7$. При появлении на выходе регулятора релейного сигнала на двух выходных клеммах включается один из тиристоров $VT1$ или $VT2$, что приводит к появлению напряжения (~ 127 В) на вторичной обмотке трансформатора $TV4$ или $TV5$. Это напряжение через ключ SA поступает на реверсивную обмотку серводвигателя $M2$. Вторичные обмотки трансформаторов $TV4$ и $TV5$ включены в противофазе, что приводит к реверсированию серводвигателя в зависимости от того, с какого трансформатора поступает напряжение на реверсивную обмотку.

Давление в экструдере изменяется с помощью пневматического датчика давления $ДДР$. Питание датчика давления производится сжатым очищенным воздухом через вентиль B и понижающий редуктор давления с фильтром $РДФ$. Выходной пневматический сигнал датчика давления, пропорциональный давлению расплава в головке экструдера, поступает на электроконтактный манометр $ЭКМ$ и пневмоэлектропреобразователь BP .

Сигналы с ЭКМ используются для защит и блокировок по давлению расплава (на схеме не показаны), а сигнал с пневмоэлектропреобразователь поступает на вход регулятора давления и прибора, регистрирующего давление (на схеме не показан).

Питание обмотки возбуждения сельсина-датчика производится от электромагнитного стабилизатора *TS* через понижающий трансформатор *TVI* и гасящий резистор *R4*. Питание обмотки возбуждения приводного двигателя *M1* осуществляется от специального источника постоянного тока, входящего в тиристорный преобразователь, через реле минимального тока *KA*. Цепочки *R1 – C1* и *R2 – C2* входят в контура гибких обратных связей преобразователя и служат для стабилизации его работы в переходных режимах.

Полная принципиальная схема экструдера [3] включает целый ряд защит блокировок и сигнализаций, предотвращающих ненормальный режим работы и сигнализирующих о тех или иных отклонениях технологических параметров. Однако, поскольку на принцип работы электропривода эти блокировки и защиты не влияют, то здесь и далее они не рассматриваются.

Ниже приведены технические данные основных элементов электропривода экструдера типа РВШ-63.

Двигатель постоянного тока типа П72	19 кВт; 440 В; 1500 мин ⁻¹
Тахогенератор типа ТМГ-30П	230 В; 0,065 А; 4000 мин ⁻¹
Серводвигатель типа РД-0,9	127 В; $i=670$
Сельсин-датчик типа БД-501	110 В; 1,25 А
Тиристорный выпрямитель типа ПТТ-460/100	23 кВт; 460 В; 100А
Электроконтактный манометр типа ЭКМ-У	10 ВА; 220 В

Для регулятора давления РП2-У2 входной сигнал 0...5 мА, для пневмопреобразователя М1М18 выходной сигнал 0...5 мА для датчика давления расплава ПДП-1×100 выходной сигнал 0,02...0,1 МПа.

Пуск разогретого экструдера производится в режиме ручного управ-

ления. С помощью кнопок *SB1*, *SB2* («Больше», «Меньше») устанавливается небольшая частота вращения шнека 10...12 мин, после чего в загрузочную зону подаются гранулы полимера. При появлении расплава в расплавопроводе и возникновении давления в головке экструдера путем изменения его частоты вращения устанавливаются нужные производительность и давление расплава.

Затем, когда фактическое давление расплава находится в заданных пределах и следовательно, на выходе регулятора давления нет никакого сигнала, ключ управления *SA* переводится в положение «автоматическое» и в дальнейшем управлении частотой вращения шнека идет в функции давления расплава в головке экструдера. Регулятор давления расплава имеет регулируемую зону нечувствительности, что позволяет САР не реагировать на отклонения давления, не имеющие нормального технологического режиму, обеспечивая при этом работу электропривода с постоянной частотой вращения.

Структурная схема рассматриваемого электропривода показана на рис. 3.2. Обозначения звеньев на схеме те же, что и на рис. 3.1.

Выбранный регулятор давления сам по себе обеспечивает ПД-закон регулирования. Его передаточная функция с учетом зоны нечувствительности может быть представлена в виде

$$W_p'(p) = \frac{\Delta U_1(p)}{\Delta I(p)} = \begin{cases} 0; & |\Delta I| < \delta; \\ K_p'(1 + pT_p') \text{sign} \Delta I & |\Delta I| > \delta, \end{cases}$$

где K_p' ; T_p' – соответственно коэффициент передачи и постоянная времени регулятора; δ – величина зоны нечувствительности.

Первые три звена в главном контуре структурной схемы $W_p'(p)$; $W_{M2}(p)$; $W_{BG}(p)$ образуют регулятор давления с зоной нечувствительности δ , осуществляющий ПИ-закон регулирования. Передаточная функция такого регулятора имеет вид

$$W_p(p) = \frac{\Delta U_2(p)}{\Delta I(p)} = \begin{cases} 0; & |\Delta I| < \delta; \\ K_p'(1 + pT_p') \text{sign} \Delta I & |\Delta I| > \delta, \end{cases}$$

где K_p и T_p – коэффициент передачи и постоянная времени этого регулятора.

Уравнения динамики электропривода, полученные на основании структурной схемы рис. 3.2, имеют следующий вид:

$$\delta P(p) = \frac{W_U(p)W_{M1}(p)W_1(p)\delta U_2(p)}{1 + W_U(p)W_{M1}(p)W_G(p)} - W_2(p)\delta Q(p), |\Delta I| < \delta; \quad (3.1)$$

$$\delta P(p) = \frac{W_a(p)}{W_e(p)} I_0(p) - \frac{W_c(p)}{W_e(p)} \delta Q(p), |\Delta I| > \delta, \quad (3.2)$$

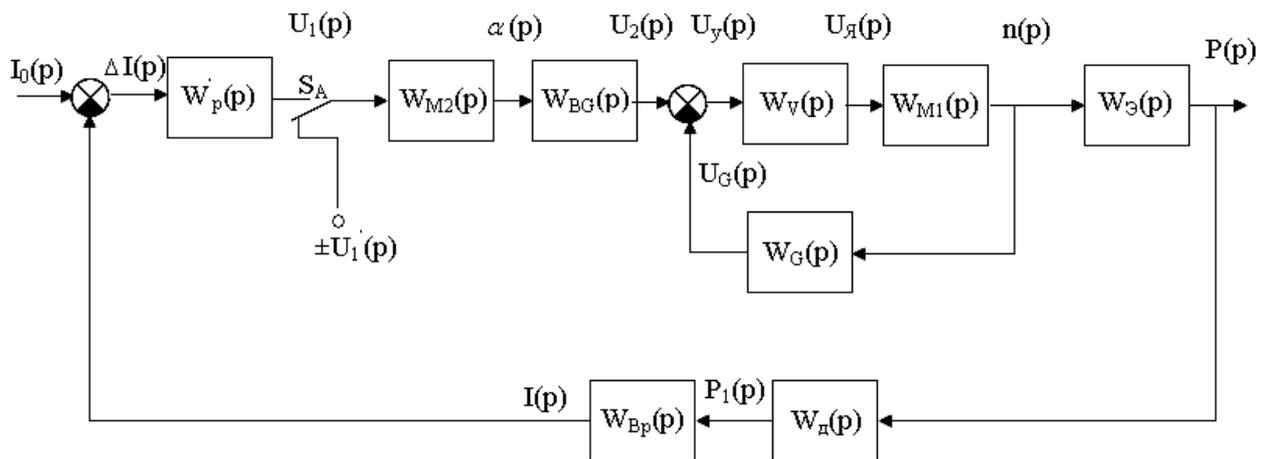


Рис. 3.2. Структурная схема электропривода экструдера типа РВШ-63

где

$$W_a(p) = W_p(p)W_U(p)W_{M1}(p)W_1(p);$$

$$W_e(p) = 1 + W_U(p)W_{M1}(p)W_G(p) + W_p(p)W_U(p)W_{M1}(p)W_1(p)W_{sp}(p)W_o(p);$$

$$W_c(p) = W_2(p)[1 + W_U(p)W_{M1}(p)W_G(p)]$$

В процессе работы экструдера на машине для формования синтетических волокон, когда расплав от него подается на несколько рабочих мест, самым важным с технологической точки зрения является поддержание давления расплава на входе в дозирующие насосы не ниже определенного уровня, обеспечивающего хорошее заполнение насосов расплавом.

При этом небольшие колебания давления расплава особой роли не играют, так как дозирующие насосы в силу своих конструктивных особенностей эти колебания не пропускают.

Из сказанного следует, что в этом случае основным режимом работы привода экструдера является режим постоянной скорости (3.1). Практически построение привода для этого режима сводится к разработке наиболее рациональной САР частоты вращения шнека. В случае идеальной САР, как это следует из уравнения (3.2), колебания давления в головке экструдера будут определяться только колебаниями отбора расплава $\delta Q(p)$ и в процессе работы экструдера принципиально не могут быть устранены.

Так как при подаче расплава к дозирующим насосам небольшие колебания давления расплава не оказывают влияния на технологический процесс, на регуляторе давления устанавливается зона нечувствительности 2δ , соответствующая допустимому размаху колебаний давления. При работе в этом режиме не только ограничиваются колебания давления расплава в головке экструдера, но и довольно быстро давление возвращается в заданные границы при отключении и включении отдельных дозирующих насосов.

Когда в силу конструктивных особенностей экструдера и режима его работы, колебания давления, вызываемые изменением отбора расплава, значительны даже при постоянной частоте вращения и увеличение зоны нечувствительности δ недопустимо, из-за влияний колебания давления на температуру расплава следует вообще отказаться от зоны нечувствительности ($\delta = 0$). Колебания давления при этом могут оцениваться по уравнению (3.2), из которого следует, что они равны нулю при использовании любого астатического регулятора.

Применение для этой цели регуляторов серии РП2 совместно с серводвигателем и сельсином-датчиком в этом случае нецелесообразно из-за малого быстродействия. Вопрос может быть решен либо при использовании серийных корректирующих приборов серии КП, обладающих большим

быстродействием и позволяющих реализовать ПИ-закон регулирования, либо с помощью полупроводниковых ПИ- или ПИД-регуляторов, выполненных на базе интегральных микросхем. При модернизации электропривода экструдера РВШ-63 в качестве регулятора давления расплава в головке был использован серийный корректирующий прибор типа КП2-УЗ.

Приборы этой серии предназначены для алгебраического суммирования входных сигналов с сигналом задатчика, демпфирования и преобразования суммарного сигнала в изменяющийся по заданному закону регулирования непрерывный унифицированный выходной сигнал постоянного тока 0...5мА. Приборы позволяют сформировать ПИ-, ПИД-, П- и ПД-законы регулирования. ПИ-закон регулирования формируется с помощью действующей внутри прибора отрицательной обратной связи. ПИД- и ПД-законы регулирования формируются корректирующим прибором при работе его с дифференциатором, выполненным в виде отдельного блока.

Прибор имеет несколько ручек настроек («Время интегрирования», «Усиление», «Чувствительность»), с помощью которых осуществляется подбор параметров выбранных законов регулирования.

Ниже приведены средние значения времени интегрирования в зависимости от положения соответствующей ручки настройки, найденные экспериментально для регулятора типа КП2-УЗ:

Положение ручки настройки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Время интегрирования, с	2	–	21	40	59	110	206	297	428	708
-------------------------	---	---	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

Зависимость входного сопротивления от положения ручки настройки регулятора следующая:

Положение ручки настройки	1	2	3	4	5	6	7	8
---------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Входное сопротивление $R_{вх}$, Ом	86	150	200	230	250	240	222	175
-------------------------------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Коэффициент усиления измерительного блока регулируется в пределах: Положение ручки «Чувствительность»

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Коэффициент усиления K_u	0,63	0,71	0,96	1,04	1,33	1,70	2,44	5,00	61,1
----------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Коэффициент передачи электронного блока регулируется положени-

ем ручки «Усиление»:

Положение ручки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент передачи $K_э$, мА/В	1,5	1,95	2,67	3,85	6,10	11,6	100			
Коэффициент передачи всего прибора определяется по формуле										

$$K_n = R_{ex} K_u K_э * 10^{-3}$$

В зависимости от положения соответствующих ручек настройки определяются значения параметров R_{ex} ; K_u ; $K_э$.

Расчеты показывают, что регулятор КП2-УЗ имеет коэффициент передачи, лежащий в пределах $K_n = 0,0615 \dots 1070$.

На рис. 3.3 приведена упрощенная принципиальная схема электропривода РВШ-63М (модернизирования), выполненная с использованием в качестве регулятора давления прибора типа КП2-УЗ, реализующего ПИ-закон регулирования [8]. Так как основным режимом работы электропривода становится режим регулирования давления расплава в головке экструдера, а режим постоянной частоты вращения нужен только при запуске и останове, то оказалось целесообразным исключить в цепи обратной связи по частоте вращения тахогенератор, являющийся к тому же и недостаточно надежным элементом, и вместо него ввести отрицательную обратную связь по э. д. с. двигателя. Эта связь реализуется с помощью тахометрического моста ($R1$, $R2$, $R3$, сопротивления обмотки якоря и добавочных полюсов) и подается в преобразователь на клеммы 1; 57 – 60.

В приводе используется два режима работы: ручной и автоматический. При работе в ручном режиме выключатель SA отключен и отключено реле режима работы K . Управляющий сигнал в преобразователь U подается от внутреннего источника с помощью резисторного делителя $R4 - R5$. Величина подаваемого напряжения измеряется вольтметром $PV2$. В режиме ручного управления размыкающий контакт реле K замыкает клеммы 7 и 18 регулятора давления, переводя его тем самым в пропорциональный режим работы.

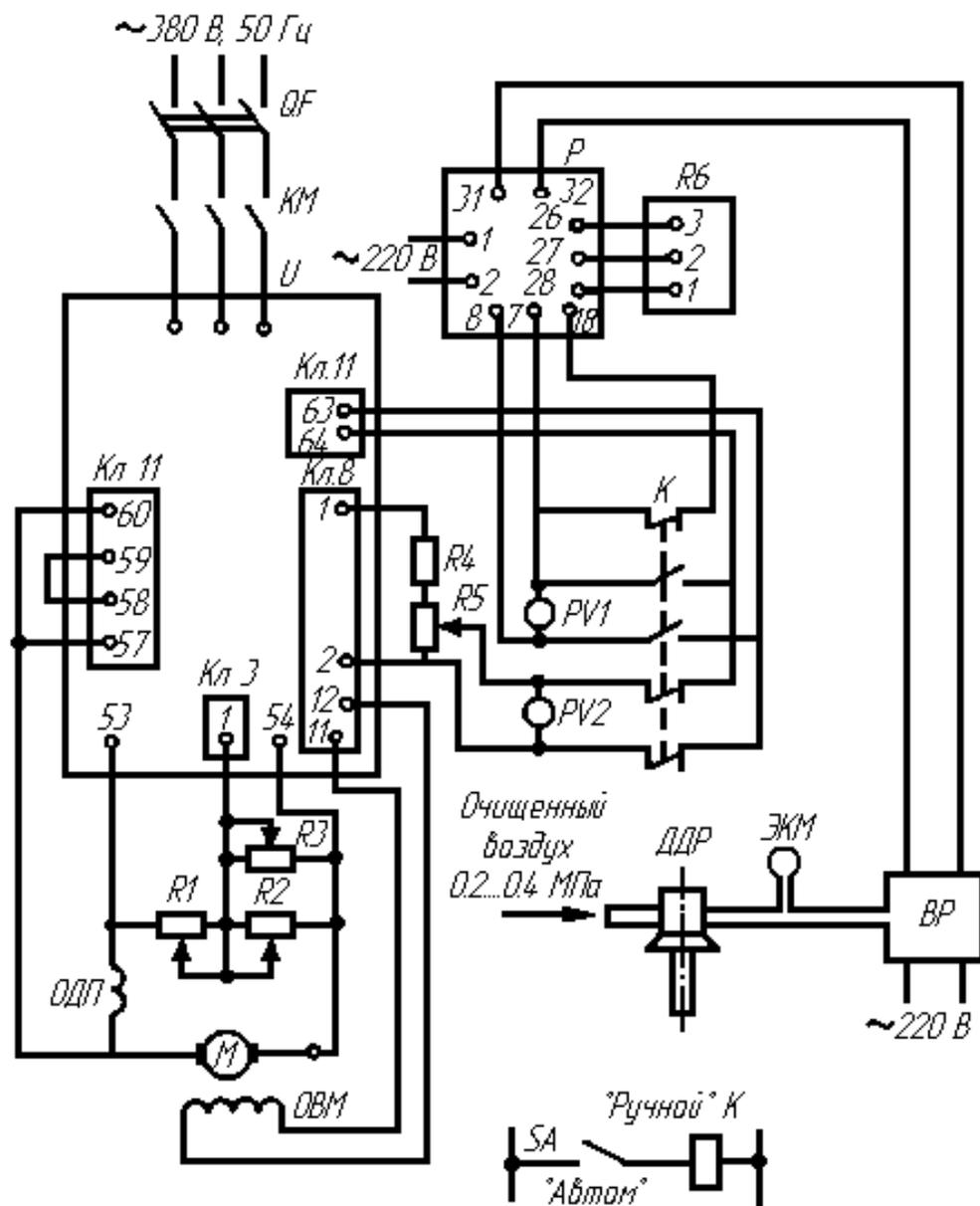


Рис. 3.3. Схема модернизированного электропривода
экструдера типа РВШ – 63

Движком резистора $R5$ устанавливается требуемая частота вращения двигателя M и после подачи гранул полимера – по регистрирующему прибору (на схеме не показан) нужное давление расплава в головке экструдера. Перед переключением на режим автоматического управления задатчиком $R6$ по вольтметру $PV1$ устанавливается выходное напряжение регулятора давления, равное напряжению управления, снимаемому с резистора $R5$. При этом показания вольтметров $PV1$ и $PV2$ должны быть равны. В момент равенства этих напряжений включением выключателя SA осуществляется переход с ручного управления на автоматическое. Клеммы 7 – 18 регулятора давления разрываются и он начинает работать в режиме ПИ-регулирования.

Для перехода с автоматического режима на ручной нужно резистором $R5$ добиться одинаковых показаний вольтметров $PV1$ и $PV2$, в момент равенства напряжений выключатель SA перевести в положение «Ручной». При этом регулятор давления отключится, и все управление частотой вращения экструдера будет осуществляться с помощью резистора $R5$.

Переходные процессы в электроприводе экструдера, возникающие при переходе от ручного режима работы на режим автоматического управления и обратно, вызваны коммутацией цепи управляющего сигнала, поступающего к преобразователю, поэтому основным условием, обеспечивающим безударный переходной процесс, является отсутствие скачков управляющего сигнала при переключениях выключателя SA . Исследование описанной схемы, показало, что скачки давления в момент переключения не превосходили $\pm 2\%$ от верхнего предела первичного преобразователя давления, а броски тока были не более 1,2 А (2,4%).

Ниже приведены технические данные основных элементов модернизированного электропривода экструдера типа РВШ-63.

Тиристорный преобразователь постоянного тока типа АТЕЗ-50/460Р-2У4	0...460 В; 50 А
Задатчик давления типа ЗД – 1000	1000 Ом

Входной сигнал регулятора давления КП2-У3 составляет 0...5мА, выходной 0...5мА.

Структурная схема модернизированного электропривода соответствует схеме рис. 3.1 при условии замены в ней обратной связи по частоте вращения обратной связью по э. д. с. двигателя. Анализ динамики осуществляется по уравнению (3.2) с учетом произведенной замены.

Общеизвестные недостатки, свойственные электроприводам постоянного тока, способствовали работам по созданию для экструдеров электропривода переменного тока, в частности, выполненного по системе ТПЧ-АД. Наличие такого электропривода позволяет наиболее оптимальным образом решить комплекс вопросов, связанных с размещением экструдера и приводного электродвигателя в пожароопасных помещениях, таковыми являются плавильные цеха заводов по производству синтетических волокон.

Повышение показателей надежности электропривода переменного тока по сравнению с приводом постоянного тока создает существенный экономический эффект за счет уменьшения затрат на ремонт и обслуживание, снижения потерь исходного сырья, увеличения коэффициента полезного времени и уменьшения количества отходов. Применение более совершенных регуляторов давления позволяет эффективно снизить колебания давления расплава, благодаря чему заметно повышается стабильность процесса формования нитей.

3.2. Разработка частотно-регулируемого асинхронного электропривода экструдера

Принципиальная схема разработанного электропривода переменного тока экструдера типа РВШ-63 приведена на рис. 3.4. Электропривод содержит тиристорный преобразователь UZ , к которому подключен приводной двигатель M , вращающий через понижающий редуктор шнек экструдера. Давление расплава воспринимается первичным преобразователем давления $ПП1$, выходной пневматический сигнал которого преобразуется

пневмоэлектропреобразователем *ПП2* в пропорциональный электрический сигнал. Сигнал пневмоэлектропреобразователя, являющийся сигналом обратной связи, подается на вход регулятора давления РД встречно по отношению к задающему сигналу, снимаемому с датчика давления R_p .

Цепь обратной связи регулятора давления образована последовательно включенными подстроечными резисторами $R2$ и конденсаторами $C2$, набор которых на схеме показан упрощенно. К выходу регулятора РД подключен согласующий усилитель $У_c$, на выходе которого установлен резистивный делитель напряжения $R5 - R6$, сигнал с которого поступает на эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе *VT1*.

Выход эмиттерного повторителя подключен к вольтметру *PV1* и переключателю режимов работы *SA*. К переключателю *SA* подключен также движок резистора R_n , являющегося датчиком частоты вращения шнека. Далее идет выходной усилитель, собранный на транзисторах *VT2* и *VT3*, напряжение с которого поступает на вход преобразователя *UZ*. Последовательная цепь, состоящая из делителя напряжения, эмиттерного повторителя, выходного усилителя и преобразователя частоты, охвачена гибкой обратной связью, образованной понижающим трансформатором *TV*, выпрямительным мостом *VD1 - VD6*, дифференцирующим конденсатором *C1* и резистором $R5$.

Пуск электропривода в работу осуществляется после выхода экструдера на заданный температурный режим. Вначале экструдер работает в режиме ручного управления частотой вращения шнека. При этом датчиком частоты вращения R_n устанавливается небольшая частота вращения шнека, которая контролируется вольтметром *PV2*. Затем в экструдер подается гранулят. Плавно повышая частоту вращения шнека, наблюдают за давлением расплава по показанию миллиамперметра *PA*.

При достижении требуемого уровня давления расплава задатчик давления R_p устанавливают в такое положение, чтобы показания вольтметра $PV1$ совпали с показаниями вольтметра $PV2$. После этого переключатель SA устанавливают в положение «Авт».

Поскольку выходные сигналы эмиттерного повторителя VTI из датчика частоты вращения R_n совпадают, а сигнал обратной связи по давлению практически равен по величине сигналу от датчика давления, то резких изменений управляющего сигнала на входе преобразователя частоты не происходит, и броски тока двигателя отсутствуют. Безударное переключение исключает динамические провалы давления расплава, влекущие за собой обрыв формируемых нитей.

Переключение с автоматического режима работы на ручной, производится после установки датчика частоты вращения шнека в такое положение, при котором показания вольтметра $PV2$ соответствуют показаниям вольтметра $PV1$. При установке переключателя SA в положение «Ручн.» его контакты шунтируют интегрирующую емкость $C2$ регулятора РД, переводя последний в пропорциональный режим работы. Этим обеспечивается удобство настройки датчика давления при последующем переходе на режим автоматической стабилизации давления.

В обоих режимах работы – ручном и автоматическом – сигнал управления с переключателя SA поступает на выходной усилитель, а затем с резистора $R11$ – на вход тиристорного преобразователя частоты UZ . Напряжение и частота переменного тока преобразователя UZ изменяются пропорционально входному управляющему сигналу \underline{U}_r . Они подводятся к приводному двигателю M , изменяя его частоту вращения в нужном направлении.

3.3. Исследования работы электропривода в динамических режимах

Исследования работы электропривода (рис. 3.5) в динамических режимах проводились аналитически и на аналоговой модели. Ниже приводятся значения параметров отдельных элементов схемы и формулы, по ко-

торым рассчитывались коэффициенты передаточных функций звеньев структурной схемы:

$$R_1 = 3,6 \text{ кОм}; \quad R_4 = 3 \text{ кОм}; \quad R_7 = 1 \text{ кОм};$$

$$R_2 = 100 \text{ кОм}; \quad R_5 = 12 \text{ кОм}; \quad R_9 = 12 \text{ кОм}; \quad (3.3)$$

$$R_3 = 3,6 \text{ кОм}; \quad R_6 = 12 \text{ кОм}; \quad C_2 = 140 \text{ мкФ};$$

$$K_1 = \frac{R_2}{R_1}; \quad K_2 = \frac{R_4}{R_3}; \quad K_3 = \frac{R_5}{R_5 + R_6}; \quad K_4 = \frac{\beta R_n}{\beta R_n + R_9}; \quad R_n = \frac{R_7 R_9}{R_7 + R_9};$$

$$K_5 = K_4 \frac{R_k}{R_9}; \quad K_6 = 1; \quad K_7^f = 18,4; \quad K_8 = 30 \text{ мин}^{-1}/\Gamma\text{ц}; \quad T_m = \frac{J \omega_n}{M_n}; \quad (3.4)$$

$$K_9 = 0,059; \quad K_{I2} = 300 \text{ Ом}; \quad T_I = R_2 C_2; \quad T_6 = 0,5 \text{ с},$$

где $\beta \approx 20$ – коэффициент усиления по току транзистора $VT1$; $R_9 = 50 \text{ Ом}$ – сопротивление в проводящем направлении перехода эмиттер-база транзистора $VT1$; R_k – сопротивление коллекторной нагрузки транзистора $VT3$; R_9' – сопротивление в цепи эмиттера транзистора $VT3$; $J = 0,102 \text{ кгм}^2$ – момент инерции ротора двигателя $M(4A160S4)$; $M_n = 95,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ – номинальный момент двигателя; $\omega_n = 157 \text{ рад/с}$ – номинальная круговая частота ротора.

Расчет по формулам (3.4) с учетом (3.3) дал следующие результаты:

$$K_1 = 27,8; \quad K_2 = 0,835; \quad K_3 = 0,5; \quad K_4 = 0,95; \quad K_5 = 0,5; \quad T_I = 14 \text{ с}; \quad T_m = 0,169 \text{ с}.$$

Как показали исследования, уравнение динамики экструдера может быть представлено приближенно в виде

$$P(p) \approx \frac{K_n e^{-p\tau_n}}{pI_n + 1} n_{\text{ин}}(p) + \frac{K_Q e^{-p\tau_Q}}{pI_Q + 1} Q(p). \quad (3.5)$$

Анализ переходных характеристик экструдера типа РВШ-63 показал, что параметры уравнения динамики (3.5) в зависимости от режима работы изменяются в широких пределах. Устойчивость САР давления определялась при наиболее неблагоприятном сочетании этих параметров, а именно:

$$K_n = 0,624 \frac{\text{МПа}}{\text{мин}^{-1}};$$

$$K_Q = -0,0362 \frac{\text{МПа}}{\text{г/мин}};$$

$$T_n = T_Q = 5 \text{ с}; \quad \tau_n \approx \tau_Q = 0,7 \text{ с}.$$

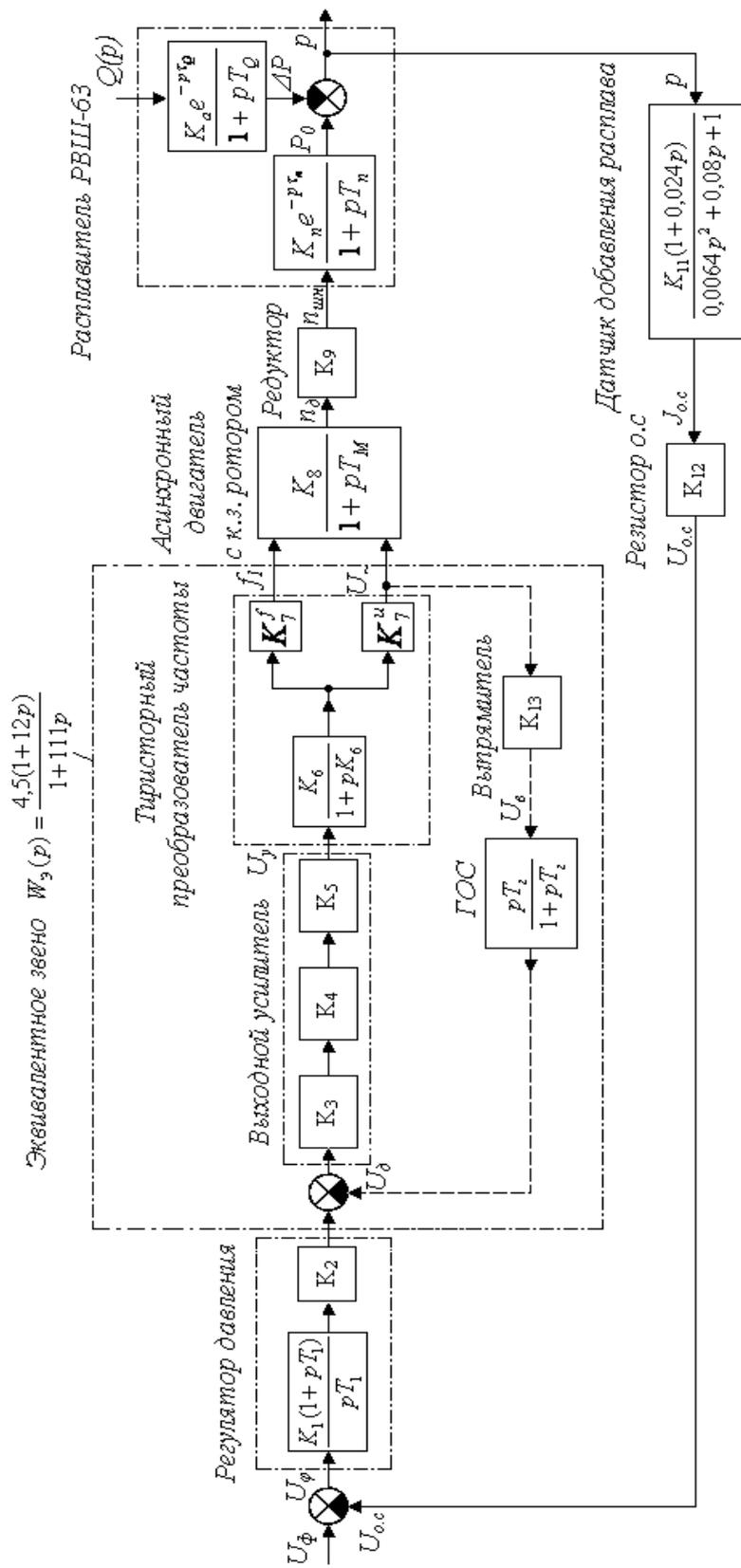


Рис.3.5. Структурная схема электропривода переменного тока экструдера марки РВШ – 63

Если при таком сочетании параметров система устойчива, то при меньших значениях K_n ; K_Q ; τ_n/T_n ; τ_Q/T_Q она будет заведомо устойчивой.

Последовательно включенные преобразователи ПП1 и ПП2 (см. рис.3.4) могут быть представлены одним динамическим звеном с передаточной функцией [11]

$$K_{11}(p) = \frac{I_{o.c}(p)}{P(p)} = \frac{0,312 * 10^{-3} (1 + 0,024p)}{0,0064p^2 + 0,08p + 1}.$$

Передаточная функция разомкнутой нескорректированной САР (т.е. без звена гибкой обратной связи ГОС) в данном случае имеет вид

$$W_p(p) = \frac{3,32(1 + 14p)e^{-0,7p}}{p(1 + 0,5p)(1 + 0,169p)(1 + 5p)}$$

Анализ устойчивости этой САР, проведенный по логарифмическим частотным характеристикам ЛЧХ, показал, что система неустойчива.

Синтез звена ГОС привел к передаточной функции для него

$$W_z(p) = pT_z / (pT_z + 1), \quad (3.6)$$

где $T_z = R_5C_I = 12$ с – постоянная времени звена ($C_I = 1000$ мкФ).

С учетом (3.6) передаточная функция корректируемой части схемы (на рис.3.5 обведена штрихпунктиром) будет иметь вид: $W_9(p) \approx 4,5(1 + 12p)/(1 + 111p)$, а передаточная функция разомкнутой скорректированной САР давлениями соответственно

$$W_k(p) \approx \frac{3,32(1 + 14p)(1 + 12p)e^{-0,7p}}{p(1 + 0,169p)(1 + 5p)(1 + 111p)(1 + 0,5p)}$$

При этом технический запас устойчивости скорректированной САР давления составляет по амплитуде $\Delta L_m = 6,6$ дБ, а по фазе $\Delta \varphi = 47^\circ$.

При работе экструдера информация о фактическом давлении в головке может быть получена только с преобразователя ПП2 (см. рис.3.4), поэтому уравнение динамики для структурной схемы САР давления должно быть разрешено относительно сигнала пропорционального давления, снимаемого с преобразователя ПП2. Таким сигналом является напряжение обратной связи $U_{o.c}$

$$U_{o.c}(p) = \frac{a(p)}{b(p)} U_{\downarrow}(p) - \frac{c(p)}{b(p)} Q(p) \quad (3.7)$$

где

$$\begin{aligned} a(p) &= 556p^2 + 86,3p + 3,32; \\ b(p) &= 11,6p^7 + 128p^6 + 437p^5 + 853p^4 + 714p^3 + 673p^2 + 87,3p + 3,32; \\ c(p) &= 0,0024p^6 + 0,0123p^5 - 0,0142p^4 - 0,0037p^3 + 0,111p^2 + 0,001p. \end{aligned}$$

Полученное уравнение динамики САР давления (3.7) учитывает воздействие на экструдер как управляющего $U_{\psi}(p)$, так и возмущающего $Q(p)$ факторов и позволяет изучить его работу при изменениях этих факторов.

Дальнейшее исследование САР давления расплава проводилось на аналоговой модели (рис. 3.6). Модель содержала реальные регулятор давления РД, тиристорный преобразователь частоты ТПЧ и асинхронный двигатель М. Механический редуктор, экструдер типа РВШ-63, датчик давления и пневмоэлектропреобразователь были заменены аналоговыми электрическими моделями.

Модели были построены на базе электронного блока постоянной задерживания типа БПЗ-2М, тахогенератора постоянного тока типа ТМГ-30П и пассивных четырехполюсников на RC -цепочках. Выбор параметров моделей проводился из условия равенства параметров передаточных функций моделируемых звеньев и модели.

Лабораторный макет электропривода содержал также нагрузочный генератор G , нагруженный на реостат R_H . При проведении исследований нагрузка приводного двигателя M устанавливалась близкой к реальной, что способствовало совпадению динамических свойств макета и реальной САР. Изменение отбора расплава моделировалось введением напряжения постоянного тока, включенного встречно напряжению тахогенератора. Величина отбора устанавливалась движком резистора R_Q , включенного на входе блока БПЗ. Постоянная времени экструдера изменялась в пределах $T_Q = T_n = 5 \dots 11$ с с помощью переменного резистора R_I . Устойчивость САР определялась при различных значениях постоянных времени экструдера и

постоянной времени интегрирования.

Экспериментально определенные области устойчивости САР давления показаны на рис.3.7. Граница устойчивости при $K_n = 0,624 \text{ МПа/мин}^{-1}$; $\tau = 0,7 \text{ с}$.

Моделированием установлено, что с уменьшением постоянной времени запаздывания меньше 0,7 с увеличивается, а с увеличением этой постоянной более 1 с – существенно уменьшается запас устойчивости. Наброс и сброс отбора расплава моделировался скачкообразным перемещением движка резистора R_Q . На рис.3.8 представлены диаграммы переходных процессов в САР давления, вызванных возмущением по каналу « $Q \rightarrow R$ ». Изменения отбора составляли 30% от максимальной производительности экструдера. При этом получены следующие показатели качества процесса регулирования: статизм САР равен нулю; перерегулирование $\sigma < 10\%$; время регулирования $t_p < 160\text{с}$; число колебаний $N_p \leq 2$. Такие показатели удовлетворяют требованиям технологии.

Отклонения давления от установившегося значения не превышали в стационарном режиме 1,0...1,5%, при отключении и включении рабочих мест заметных отклонений давления не наблюдалось. За период испытания отказов электропривода не было.

Таким образом, преимущества электропривода переменного тока, заключающиеся в его высокой надежности, хороших динамических и энергетических показателях, возможности использования в пожароопасных помещениях прядильных цехов, делают перспективным в недалеком будущем отказ от электропривода постоянного тока для экструдеров.

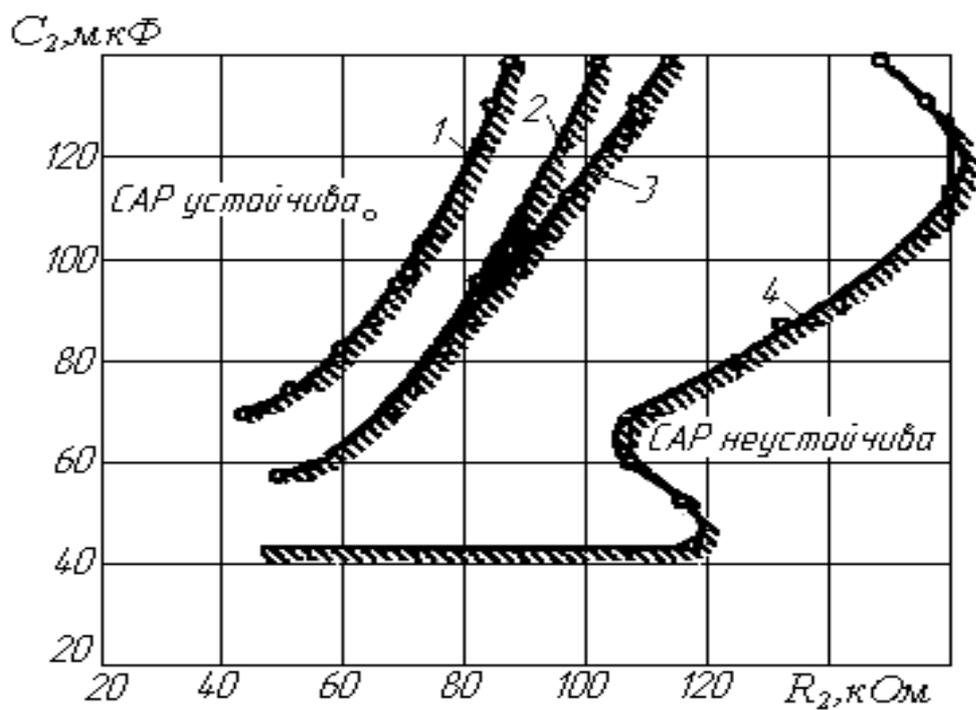


Рис. 3.7. Экспериментально найденные области устойчивости САР давления

1 – $T_n = 5$ с; 2 – $T_n = 7$ с; 3 – $T_n = 9$ с; 4 – $T_n = 11$ с

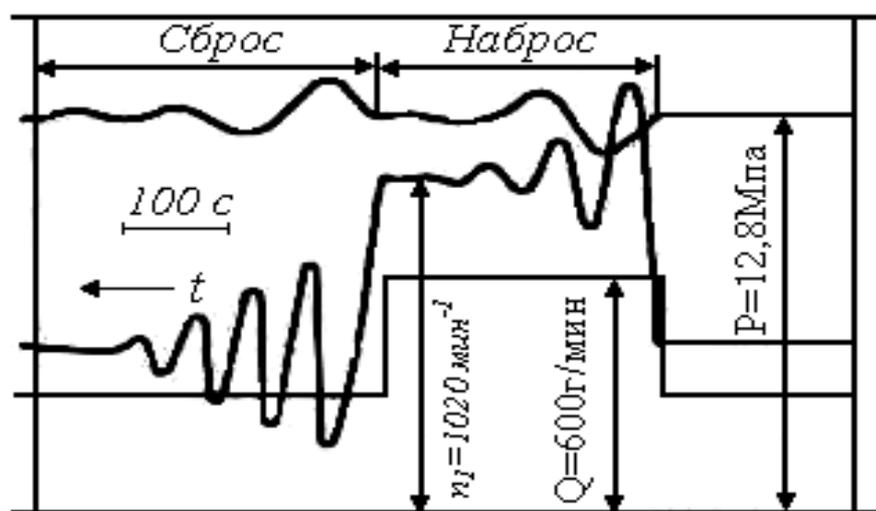


Рис.3.8. Диаграммы переходных процессов в САР давления при изменении отбора расплава от экструдера

Выводе по главе 3

1. Проведено исследование существующего регулируемого электропривода экструдера по схеме «управляющий выпрямитель-двигатель постоянного тока» с САР скорости вращения шнека с пневматическим датчиком давления и регулятором давления. Показано, что применение серийных регуляторов давления в этом случае нецелесообразно из-за малого быстродействия.

2. Рассмотрен вопрос модернизации электропривода постоянного тока экструдера с использованием корректирующих устройств, обладающих большим быстродействием и позволяющих реализовать ПИ-закон регулирования с помощью полупроводниковых ПИ- или ПИД-регуляторов, выполненных на базе интегральных микросхем. Проведен анализ статических и динамических режимов модернизированного электропривода.

3. С целью оптимального решения комплекса вопросов, связанных с размещением экструдера и приводного двигателя в пожароопасных помещениях, а также повышением показателей надежности плавильных устройств и обеспечением хороших динамических и энергетических показателей, создан частотно-регулируемый асинхронный электропривод экструдера.

4. Разработана принципиальная схема электропривода переменного тока экструдера, рассмотрены основные режимы работы и проведено исследования частотного электропривода в динамических режимах, результаты моделирования и лабораторные испытания показали хорошие динамические качества и высокую надежность электропривода переменного тока экструдера.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Изучено современное состояние плавильных устройств для формования синтетических волокон и их электроприводов. Определено, что в качестве плавильных устройств на современных машинах для формования синтетических волокон применяются плавильные головки с поддавливающим шнеком и экструдеры. Рассмотрены схемы, особенности работы, и основные характеристики плавильных головок экструдеры показано, что в силу своей универсальности нашли более широкое применение.

Проведен обзор электроприводов устройств плавления и формирования синтетических волокон, показано, что на современных машинах применяются только электроприводы, имеющие плавное регулирование скорости вращения, как правило, по системе управляемый выпрямитель – двигатель постоянного тока. Определены основные требования к регулируемому электроприводу плавильных устройств

Для анализ работы и определения принципа построения регулируемого электропривода плавильных устройств изучен процесса переработки синтетических смол на основе статических характеристик связывающих производительность экструдера, давления расплава в головке и скорость вращения шнека. Установлены основные соотношения для определения потребляемой и установленной мощности привода экструдера, проведен анализ динамических режимов экструдера на основе составления уравнения динамики по производительности и давлению расплава на выходе.

Определены принципы построения электропривода шнека, выбора регулятора и закона регулирования давления расплава на выходе экструдера. Показано, что система электропривода играет существенную роль в обеспечении эффективной работы экструдера. Частота вращения шнека и температура являются неперенными компонентами уравнений, описывающих процессы переработки полимера в экструдере. Изменения частоты вращения, а также температуры исходного сырья, расплава и соприкасающихся с ним элементов конструкции сказывается на производительности и эконо-

мичности экструдера, равномерности физико-химических свойств и качестве конечного продукта переработки – расплава полимера.

Проведено исследование существующего регулируемого электропривода постоянного тока экструдера с САР скорости вращения шнека. Показано, что применение серийных регуляторов давления в этом случае нецелесообразно из-за малого быстродействия. Рассмотрен вопрос модернизации электропривода с использованием корректирующих устройств, обладающих большим быстродействием и позволяющих реализовать ПИ-закон регулирования с помощью полупроводниковых ПИ- или ПИД-регуляторов, выполненных на базе интегральных микросхем. Проведен анализ статических и динамических режимов модернизированного электропривода.

С целью оптимального решения комплекса вопросов, связанных с размещением экструдера и приводного двигателя в пожароопасных помещениях, а также повышением показателей надежности плавильных устройств и обеспечением хороших динамических и энергетических показателей, создан частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Разработана принципиальная схема электропривода переменного тока, рассмотрены основные режимы работы и проведено исследования частотного электропривода в динамических режимах. Результаты моделирования и лабораторные испытания показали хорошие динамические качества и высокую надежность электропривода переменного тока экструдера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каримов И.А. Все наши устремления и программы – во имя дальнейшего развития родины и повышения благосостояния народа. Доклад на заседании правительства по итогам социально – экономического развития страны в 2013 году и важнейшим приоритетам на 2014 год. – <http://www.senat.gov.uz/>.
2. Рабкин Р.Л., Смагоринский А.Б., Фрадин А.М. Автоматизированные электроприводы машин производства синтетических нитей. Л.: Машиностроение. 1992. 167 с.
3. Голубев Г. А., Гудовский Б. А., Пономарев О. В. Машины для формования и приемки синтетических нитей. М.; Химия, 1987, 262 с.
4. Дворницкий Г. С. Кручение и перемотка шелка в производстве химических волокон. М.: Легпром, 1989, 189 с.
5. Смагоринский А. Б. Исследование работы экструдера для капронового волокна как объекта управления. Автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М.: ВНИИЛТекмаш, 1982, 28 с.
6. Фишман К. Е., Хрузин Н. А. Производство волокна капрон. М.: Химия, 1986, 311 с.
7. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. Л.: Гостехиздат, 1982, 467 с.
8. Алексеев В.М., Рабкин Р.Л. К вопросу о программировании скорости вращения бобины при бесфрикционном способе наматывания волокна. – Химические волокна, 2013, № 1, с. 48 – 50.
9. Adelski H.-J., Baumann R. Neue Aussenlaufermotoren for die Chemiefasernindustrie. – Chemiefasern, 2012, N 9, S. 694 – 696.
10. Theory of Extrusion, Industrial and Engineering/I. E. Carley, R. A. Strub, R. S. Mallouk, I. M. Mc-Kelvey, Chemistry, vol. 45, 5, april, 2013, p. 971 – 992.
11. Розов Ю.М. Бесконтактные регулируемые электроприводы для систем технологической автоматики. Киев: Наукова думка, 1986. 58 с.

12. Хавкин В. П., Малышков М. М. Импульсные регуляторы в текстильной промышленности. М., 1985.
13. Малышков М. М. и др. Основные направления развития бесконтактного электропривода для оборудования легкой промышленности / Малышков М. М., Лещенко В. Г., Хавкин В. П., -Текстильная промышленность, 1981, № 1.
14. Свиренко П. А. и др. Регулируемые электроприводы в текстильной промышленности / Свиренко П. А., Мовшович И. М., Малышков М. М., 1983.
15. Шмелев А. Н., Шишло К. С. Электрооборудование промышленных предприятий текстильного производства. М., 1985.
16. Бернхард Э. Переработка термопластических материалов. Пер. с англ./ Пер. Р. В. Торпера и др.; Под ред. Г. В. Виноградова. М.: Химия, 1985. 748 с.
17. Балакин В. Е. Мощность, расходуемая на сопротивление воздуха при вращении веретен. Тр. МТИ/Моск. текст. ин-т, 1985, вып. 15, с. 32 – 41
18. Электротехнический справочник / Под общ. Ред. М. Г. Чиликина. М.: Энергия, 1984, т. I. 776 с.
19. Юферов Ю. М. Электрические машины автоматических устройств. – Тр. ВНИИЭМ, 1986, т. 44, с. 85 – 131.
20. Автоматический контроль и регулирование развеса текстильных материалов/ В. П. Хавкин, А. С. Молчанов, К. П. Сергеев и др. М., 1985.
21. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами. Л., 1982.
22. Быстров А. М., Глазунов В. Ф. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности. М., 1987.
23. Грищенко-Меленевский А. А., Лизогубов А. Н. Электрооборудование и электроснабжение предприятий легкой промышленности. МТИЛП, 2012.

24. Красник В. В. Повышение экономичности работы электрооборудование на предприятиях легкой промышленности. М., 1985.
25. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинянского. М., 1983.
26. Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода. М., 1989.
27. Чиликин М. Г. и др. Теория автоматизированного электропривода / Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. М., 1989.
28. Быстров А. М., Глазунов В. Ф. Многодвигательные автоматизированные электроприводы поточных линий текстильной промышленности. М., 1987.
29. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе / Под ред. Р. С. Сарботова. М., 1983.
30. Петелин Д. П., Невраев В. П. Автоматизация технологической процессов в текстильной промышленности. М., 1980.
31. Автоматизация типовых технологической процессов и промышленных установок: Учеб. пособие для вузов/А.М. Корытин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов, Н.К. Шапарев. Киев – Одесса: Вища школа, 1980. 372с.
32. Михелькевич В.Н. Автоматизация типовых технологической процессов и промышленных установок. Куйбешев: Куйбешевский политехнический ин-т, 1988. 59 с.
33. Мясников В.А., Вальков В.М., Омельченко И.С. Автоматизированные и автоматические системы управления технологической процессами. М.: Машиностроение, 1988. 232 с.
34. Адаптивное управления технологической процессами / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, С.П. Протопопов и др. М.: Машиностроение, 1983. 536 с.
35. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, 1982. 392 с.
36. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. пособие для вузов.

М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.

37. Справочник по автоматизированному электроприводу/Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шифрина. М.: Энергоатомиздат, 1983. 616 с.

38. Справочник по средствам автоматики/Под ред. В.Э. Низе и И.В. Антика. М.: Энергоатомиздат, 2013. 504 с.

39. Андриященко О. А. Управления электромагнитными переходными моментами при импульсном регулировании скорости асинхронных электроприводов. – Изв. вузов. Электромеханика, 1996, № 5, с. 563 – 567.

40. Андриященко О. А., Липатов Г.С., Херунцев П.Э. Исследование режимов асинхронного электропривода при квазичастотном управлении. - Электротехническая промышленность. Электропривод. 1982, вып. 4(102), с. 7 – 9.

41. Анализ динамических свойств тиристорных регуляторов напряжения в асинхронного электроприводах/ Р. П. Герасимьяк, В. И. Капинос, В. А. Ковригин и др. – Электротехническая промышленность. Электропривод. 1982, вып. 3(101), с. 13 – 15.

42. Беспалов В. Я., Машинян Л. Х., Соколова Е. М. Метод расчета статических характеристик асинхронных двигателей, управляемых тиристорами. – Электричество, 1999, № 7, с. 34 – 39.

43. Герасимьяк Р. П., Томмак Х. Д. Асинхронных несимметричный электропривод с тиристорами. - Электричество, 1991, № 4, с. 55 – 58.

44. Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1989. 616 с.

45. Шубенко В. А., Браславский И. Я. Тиристорные асинхронный электропривод с фазовым управлением. М.: Энергия, 1982. 200 с.

46. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе / М. М. Соколов, Л. П. Петров, Л. Б. Масандилов, В. А. Ладензон. М.: Энергия, 1987. 198 с.

47. АСУП в текстильной и легкой промышленности/Под ред. В. А. Климова. М., 1986.