

6
-A-62

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

КАЛИНИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Аспирант О.Ф.МОТЫЛЁВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ВЫГРУЗНЫХ
И ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
КАПРОНОВОГО ВОЛОКНА ПО НЕПРЕРЫВНОМУ СПОСОБУ

Специальность А 187 "Системы приводов"

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н.,
профессор И.К.ХРУСТАЛЁВ

Научный консультант к.т.н.,
доцент В.А.СИБИРСКИЙ

Калинин - 1971

6
-А-62

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

КАЛИНИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Аспирант О.Ф.МОТЫЛЁВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ВЫГРУЗНЫХ
И ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
КАПРОНОВОГО ВОЛОКНА ПО НЕПРЕРЫВНОМУ СПОСОБУ

Специальность № 187 "Системы приводов"

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н.,
профессор И.К.ХРУСТАЛЁВ

Научный консультант к.т.н.,
доцент В.А.СИБИРСКИЙ

Калинин - 1971

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

КАЛИНИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Аспирант О.Ф.МОТЫЛЁВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ВЫГРУЗНЫХ
И ДОЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
КАПРОНОВОГО ВОЛОКНА ПО НЕПРЕРЫВНОМУ СПОСОБУ

Специальность № 187 "Системы приводов"

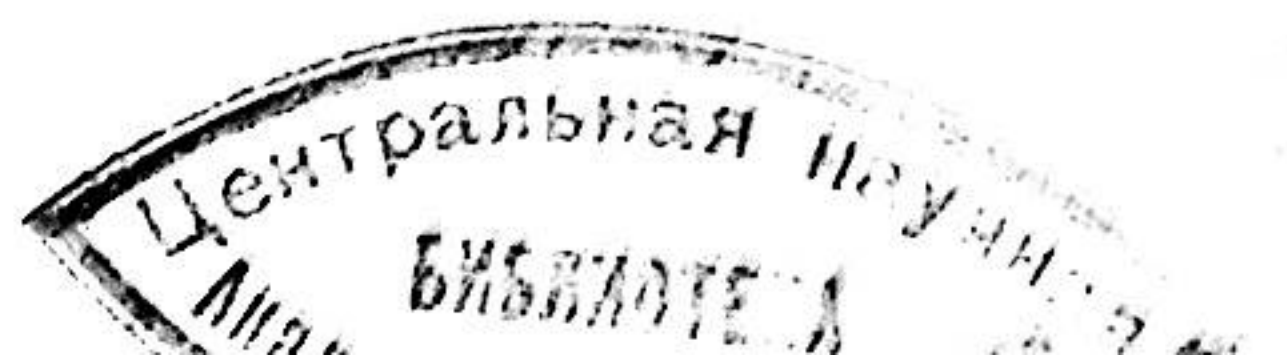
А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание
учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель д.т.н.,
профессор И.К.ХРУСТАЛЁВ

Научный консультант к.т.н.,
доцент В.А.СИБИРСКИЙ

Калинин - 1973



678.6
62

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации
О.Ф. Мотылёва.

Работа выполнена на кафедре электротехники Калининского
политехнического института, экспериментальном заводе ВНИИСВ и
Калинском комбинате химического волокна.

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, проф. Л.Ф. ШИЛЯРСКИЙ
2. Кандидат технических наук, доц. Г.А. ДМИТРИЕВ
3. Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский
институт синтетических волокон.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Калининского
политехнического института за 10 дней до защиты. О дне защиты
будет сообщено в газете "Калининская правда".

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные, просим направлять по
адресу: г. Калинин - 35, Первомайская набережная, 22, Политехни-
ческий институт, Учёному секретарю Совета.

Защита диссертации состоится **"31" марта 1971г.**

Дата отправки автореферата **"26" февраля 1971г.**

Учёный секретарь Совета к.т.н., доц.

Е.А. КОНОВАЛОВ

- 3 -

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития мирового хозяйства характеризуется
высокими темпами роста производства химической продукции и прежде
всего синтетических материалов. Наряду с производством пластиче-
ских масс, синтетического каучука огромное развитие получило произ-
водство синтетических волокон.

Успешное решение задач, поставленных перед химической промышлен-
ностью в Программе Коммунистической партии Советского Союза, - до-
вести выпуск химических волокон всех видов к 1980 году до 3100 +
+ 3300 тыс.т. - возможно лишь на основе значительного усовершен-
ствования существующей и создания принципиально новой техники
производства с преимущественным развитием непрерывных автоматизиро-
ванных процессов.

Повышение степени непрерывности и уровня автоматизации производ-
ства синтетических волокон достигается разными путями. Важнейшими
из них являются: 1) усовершенствование технологии и создание допол-
нительных механизмов и систем, обеспечивающих механизацию и автома-
тизацию ручных работ; 2) агрегирование оборудования и создание на
этой основе сначала локальных систем автоматического регулирования
технологических параметров этих агрегатов, а затем полностью авто-
матизированных процессов.

Указанные мероприятия не могут быть осуществлены без широкого
применения автоматизированного электропривода, осуществляющего ос-
новные операции по транспортировке, загрузке, выгрузке химических
веществ. Применение автоматизированного электропривода повышает

производительность труда, улучшает качество выпускаемой продукции.

В настоящее время для регулирования скорости вращения дозирующих и выгрузных устройств, являющихся наиболее важными механизмами в общем производстве капронового волокна по непрерывному способу, применяются механические регуляторы - вариаторы типа ВЦ. Применение такого привода имеет ряд существенных недостатков: 1) системы автоматического регулирования технологических параметров на основе вариаторного привода сложны и имеют релейно-ступенчатый характер; 2) вариаторный привод имеет низкую эксплуатационную надежность; 3) малый диапазон регулирования скорости и ограниченный запас по мощности.

Целью настоящей работы является исследование и разработка регулируемых электроприводов выгрузных и дозирующих устройств установки производства капронового волокна по непрерывному способу, обладающих высокими качествами автоматического регулирования, высокой эксплуатационной надежностью, большим диапазоном регулирования скорости и мощности.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического указателя и приложений.

В первой главе дан анализ состояния автоматизации установки производства капронового волокна с вариаторным приводом. Уточнены требования технологии производства, предъявляемые к электроприводам в настоящее время и с учетом дальнейшего совершенствования. Определены механические характеристики выгрузных и дозирующих устройств.

Известны три способа получения капронового волокна - периодический, полуперерывный и непрерывный. Большинство современных химических производств капронового волокна развивается в направлении

создания непрерывных процессов, применение которых обеспечивает уменьшение капиталовложений, сокращение затрат труда, снижение себестоимости, легче осуществляется автоматизация процесса. Регулируемый привод выгрузных и дозирующих устройств установки производства капронового волокна по непрерывному способу является объектом исследования в данной работе.

Из-за своей простоты и пожаробезопасности вариаторный привод широко применяется на установках периодического и полуперерывного способов производства капронового волокна, где преобладает ручной способ управления технологическим процессом. При внедрении непрерывных способов производства волокна, где автоматизация наиболее эффективна, вариаторный привод не соответствует предъявляемым требованиям.

В настоящее время имеется несколько, испытанных в промышленных условиях, способов автоматизации установок с вариаторным приводом. Так, институтом ГИПРОИЗ, СКБ при заводе им. К.Маркса г. Ленинград, СКБ при заводе им. Калинина г. Киев, лабораторией ИИП и А при комбинате химического волокна г. Даугавпилс и др. разработаны схемы полуперерывного, дистанционного управления скоростью выгрузных и дозирующих устройств установки. Эти схемы обеспечивают удовлетворительную работу механизмов при управлении с центрального пульта и не решают вопросов, связанных с автоматизацией процесса.

Институтами ВНИИСС, ВНИИМСВ, ПКБ Пластмаш и др. разработано несколько схем автоматического управления на основе вариаторного привода. В этом случае технологические параметры (например, давление, уровень в аппаратах) поддерживаются постоянными. Однако точность регулирования, из-за наличия элементов с релейной характеристикой, не превышает 5-6%.

В работе приводятся диаграммы изменения давления в расплавопроводе для различных схем, снятые экспериментально с участием автора на Клинском комбинате химического волокна. Оценка работы схем производится на основе коэффициентов отклонений, размаха и устойчивости. Более высокая точность регулирования, при значении коэффициента устойчивости процесса близком к единице, может быть получена при использовании, в качестве объекта регулирования, автоматизированного электропривода вместо вариаторного.

Кроме этого результаты анализа существующих организационно-технических условий производства на действующих установках показывают, что установки в течение года несколько раз останавливаются из-за выхода из строя вариаторного привода и в частности привода выгрузного шнека. Осуществить 100% резервирование этого устройства нет возможности из-за конструктивных и технологических особенностей аппарата отгонки мономеров.

Количественная оценка надежности вариатора, работающего в условиях капроновых производств, произведена методами математической статистики. На основании экспериментальных данных показано, что время наработки на отказ вариатора подчиняется закону нормального распределения, определены математическое ожидание, дисперсия и плотность вероятности. Построен график статистической функции распределения отказов вариатора, определено статистическое среднее время наработки на отказ.

На основании вышеизложенного следует вывод, что вопрос о замене вариаторного привода выгрузных и дозирующих устройств регулируемым электроприводом является актуальным.

Основные задачи, составляющие предмет исследования в данной работе, следующие:

1) Определение механических характеристик выгрузного и дозирующих устройств и уточнение требований, предъявляемых к электроприводам этих устройств;

2) Оценка надежности наиболее употребительных систем электропривода;

3) Техничко-экономическое сравнение исследуемых систем электропривода;

4) Исследование статических и динамических характеристик тиристорного электропривода;

5) Экспериментальное исследование тиристорного электропривода, как объекта автоматического регулирования.

В работе приведен анализ особенностей работы исследуемых механизмов с целью определения зависимости момента статических сопротивлений от скорости. Принято рассматривать выгрузные и дозирующие устройства, как механизмы с $M_c = \text{const}$. Точность и надежность данного предположения оценена методом доверительного интервала и доверительной вероятности. Как показывают расчеты, доверительный интервал для механической характеристики дозирующего устройства равен $\pm 20\%$, а выгрузного шнека $\pm 15\%$ при доверительной вероятности $\beta = 0,9$. Кроме этого уточнены требования, предъявляемые к электроприводам: диапазон регулирования $D = 10:1$; электрическое регулирование скорости плавное, непрерывное; статическая точность поддержания скорости для шнека $\pm 1\%$, для дозирующих устройств $\pm 3\%$; время переходного процесса не более 1,0 сек; номинальная мощность электродвигателей в пределах от 0,6 до 10,0 квт; режим работы длительный, без реверсирования; классификация помещения П-А требует применения электрооборудования закрытого исполнения.

Во второй главе приведен качественный анализ и количественная оценка возможных систем электропривода выгрузных и дозирующих устройств. Учитывая опыт зарубежных фирм и отечественной промышленности, для выполнения поставленных в гл. I условий, наиболее употребительны следующие типы электроприводов: 1) система генератор-двигатель, Г - Д; 2) управляемый полупроводниковый выпрямитель - двигатель, УПВ - Д; 3) привод постоянного тока с магнитным усилителем, ПМУ - Д; 4) вариаторный привод; 5) электропривод с асинхронной электромагнитной муфтой; 6) асинхронный вентиляльный каскад, АВК.

Перечисленные электроприводы в одинаковой степени обеспечивают требования механизмов и окупаются достигаемой при этом экономией в технологической части. При дополнительной оценке технических и экономических показателей, в первую очередь, должны учитываться надежность и технико-экономическая эффективность.

Исследованию вопросов надежности электроприводов посвящены работы Р.А.Сапожникова, В.М.Бердина, Б.К.Цетлина, А.А.Бессонова, А.Г.Шоломицкого и др., из организаций следует отметить работы ВНИИЭлектропривода, в которых рассматриваются в основном схемы электропривода с различными машинными преобразователями и магнитными усилителями или вопросы надежности отдельных машин. Исследованию вопросов надежности тиристорных преобразователей уделяется мало внимания. Этот факт был отмечен в решении Карагандинской конференции по тиристорному электроприводу, проходившей в марте 1970 года. Кроме этого вопросы надежности вообще электропривода, работающего в химической промышленности, не получили достаточного освещения в литературе.

Наиболее достоверной оценкой надежности является опыт. Ввиду отсутствия опытных данных по эксплуатации рассматриваемых приводов в

условиях капроновых производств, за исключением вариаторного, производим количественную оценку надежности систем аналитическим методом. Математически критерий безотказности определяется как вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение заданного времени T . Поток отказов характеризуется интенсивностью отказов λ_i :

$$\lambda_i = \frac{\Delta n_i}{N_{cp} \Delta t_i},$$

где Δn_i - число отказавших элементов;
 Δt_i - отрезок времени;
 N_{cp} - среднее число элементов, исправно работающих на отрезке времени Δt_i .

Интенсивность отказов и среднее время наработки между отказами связаны между собой зависимостью:

$$T_{н.ср} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sum_{i=1}^z \lambda_i N_i},$$

где z - количество типов элементов в системе;
 N_i - количество элементов данного типа.

В основе методов расчетов положено постоянство интенсивности отказов элементов. Для таких условий имеет место экспоненциальный закон распределения времени наработки на отказ. Критерий безотказности в этом случае определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_{н.ср}}}$$

Отсюда видно, что наработка на отказ $T_{н.ср}$ является единственным параметром экспоненциального закона надежности и она может быть принята в качестве критерия надежности. При сравнении надежности различных типов приводов можно сопоставлять только средние наработки на отказ $T_{н.ср}$.

Наиболее подходящим способом для определения величины λ_i , является коэффициентный метод. Методика расчета разбивается на ряд последовательных этапов.

I этап. Анализ исходных данных. Выяснение места в технологическом процессе, определение требований к надежности, режимов работы привода по нагрузке и температуре. II этап. Определение структурной схемы электропривода. Разделение на независимые функциональные узлы (преобразователи, усилители, силовые блоки). III этап. Разделение схемы функционального узла на отдельные расчетные схемы, которые известны (триггеры, усилители, генераторы). Выявление элементов, играющих вспомогательную роль. IV этап. Анализ номинальных параметров элементов функционального узла. Определяются номинальные параметры, которые определяют надежность каждого элемента схемы. Например, для сопротивления R_n это будет номинальная рассеиваемая мощность P_n , для тиристора — допустимое значение тока $I_{доп.}$ и т.д. V этап. Определение границ надежности функционального узла. Принимается коэффициент нагрузки $K_n = 1,0$ для верхней границы и $K_n = 0,2$ для нижней границы. VI этап. Определение фактических значений коэффициентов нагрузки элементов. Фактические режимы определяются путем экспериментальных замеров токов и напряжений в схемах. Расчет коэффициента надежности всего функционального узла. VII этап. Определение среднего времени наработки на отказ для каждого функционального узла, а затем электропривода в целом:

$$T_{с.пр.}(t^0) = \sum_{j=1}^{\ell} T_{с.ф.}(t^0),$$

где ℓ — число функциональных узлов;
 j — индекс функционального узла.

В таблице П-3 приведены результаты оценки надежности рассматриваемых типов электропривода согласно этой методике.

Далее решается вопрос: какой вид привода лучше всего соответствует требованиям технологического процесса при условии удовлетворительной стоимости объекта? Экономичным считается вариант, у которого увеличен.е капитальных вложений окупается экономией ежегодных издержек производства в течение установленного срока окупаемости T и имеющих минимальные расчетные затраты Z . Методика расчета этих параметров включает в себя пять следующих пунктов: 1) расчет капитальных затрат; 2) определение стоимости потерь электроэнергии; 3) расчет затрат на техобслуживание привода; 4) определение расчетных затрат; 5) определение срока окупаемости. При определении расчетных затрат необходимо учитывать стоимость технологических потерь C_4 , в случае останова электропривода. Методика определения этого вида потерь приведена в приложении к диссертации (см. "Справка об экономической эффективности"). Результаты расчетов сведены в таблицу П-3. При минимальных расчетных затратах, всем требованиям технологического процесса, наиболее полно удовлетворяет система электропривода с однофазным тиристорным преобразователем и двигателем постоянного тока, система УПВ-Д с ПТО.

Третья глава посвящена исследованию статических и динамических свойств как отдельно тиристорного преобразователя, так и системы электропривода в целом. Исследованию вентильного электропривода посвящены работы советских ученых Ф.И. Бутаева, Е.А. Эттингера, Л.А. Завалишина, И.Л. Кеганова, А.А. Булгакова, Б.М. Гуткина, А.В. Гашарина, В.П. Емпило, А.А. Сиротина и др.

Как отмечалось на IV Всесоюзной конференции по автоматизированному электроприводу, наименее исследованным устройством остается вентильный преобразователь как элемент общей системы. Это объясняется сложностью процессов протекающих в преобразователе при изменении сигнала управления.

Статические характеристики тиристорного однофазного преобразователя исследовались при изменении момента открытия управляемых вентилей угла α с учетом угла коммутации δ при различных значениях импеданса нагрузки. Внешние характеристики имеют большую крутизну наклона. Показано, что наклон внешних характеристик преобразователя уменьшается с увеличением реактивного сопротивления. Определены регулировочные характеристики однофазного преобразователя. С учетом известных допущений, лучшая оходимость теоретических и экспериментальных внешних характеристик в заданном диапазоне регулирования достигается при увеличении реактивного сопротивления нагрузки. Оценка произведена методом доверительного интервала с доверительной вероятностью $\beta = 0,95$.

При теоретическом исследовании динамических свойств преобразователя выяснено, что расчет переходных процессов в импульсном режиме представляет сложную дискретную нелинейную трансцендентную задачу, точное решение которой затруднительно. Поэтому за основу взяты динамические параметры преобразователя определенные экспериментально. В зависимости от места применения тиристорный преобразователь рассматривается: 1) как безынерционное звено с коэффициентом усиления $K_{гп}$; 2) как звено с чистым запаздыванием τ . Величина запаздывания определена экспериментально $\tau = 0,03$ сек.

Уменьшение наклона внешних характеристик может быть достигнуто введением обратной связи по скорости. Для этой цели применен тахогенератор постоянного тока. Скоростная характеристика двигателя

Таблица П-3

Пара- метры	Тип при- вода	Г-Д		УИВ - Д		МУ-Д	Вариа- тор- ный	ЭМС	АВК
		ПТО	ПТТ						
Капитальные ^х затраты (руб)		1135	1954	4296	1200	1566	1600	4026	
Стоимость потерь электроэнергии (руб)		606	190	200	230	698	330	220	
Эксплуатац. рас- ходы за год (руб)		685	225	235	265	814	459	255	
Расчетные затра- ты (руб)		865	518	880	445	1048	699	895	
Срок окупаемости (год)		-	0,66	5,2	-		0,1	4,4	
Время наработки на отказ (час)		95000	9550	6780	47000	1305	14700	3300	
Диапазон регулиро- вания скорости D		500	200	200	150	6	50	200	
Количество вра- щающихся машин		3	1	1	1	2	2	1	
К.П.Д.		0,6	0,83	0,8	0,8	0,56	0,7	0,78	
Пост. времени перех. процесса $T_{перех}$ (в сек)		1	1	1	1	1	1	1	
$I_{кр} 0 \div 5$ ма		+	+	+	+	-	+	+	

х) - расчет производился для трех приводов: черпачкового дозатора, гестеренчатого насоса, выгрузного шнека.

В этом случае определяется из системы уравнений:

$$\Delta U = U_s - \gamma_c n;$$

$$E_{dn} = K_n \cdot \Delta U;$$

$$U_d = E_{dn} - I_d R_n;$$

$$U_d = E_g + I_d R_a;$$

$$E_g = C_e \omega;$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60};$$

где U_s - задающее напряжение;

$\gamma_c n = U_{ac}$ - напряжение обратной связи;

K_n - коэффициент усиления преобразователя;

$R_{gd} + R_{gp} = R_n$ - сопротивление якорной цепи двигателя;

E_{dn} - среднее значение э.д.с. преобразователя;

γ_c - коэффициент обратной связи по скорости.

Получим выражение скоростной характеристики вида:

$$n = \frac{K \cdot U_s}{1 + \gamma_c K} - I_d \frac{R}{C_e (1 + \gamma_c K)},$$

где через $K = K_n / C_e$ обозначен коэффициент передачи преобразователя и двигателя, а через $R = R_n + R_a$ - общее сопротивление преобразователя и якорной цепи двигателя. Особенностью статических характеристик данной системы является то, что статическая ошибка при данном моменте нагрузки в диапазоне регулирования не остается постоянной, а изменяется по нелинейному закону. Статическая ошибка зависит от угла коммутации, который, в свою очередь, находится в косинусоидальной зависимости от угла регулирования.

В работе показано, что величина статизма на высшей скорости не превышает 0,8%, на низшей скорости - 1,0%, в диапазоне регулирования

$D=10$, что соответствует предъявляемым требованиям.

При исследовании динамических свойств системы электропривода с тиристорным преобразователем рассматривалась его реакция на скачкообразное изменение управляющего сигнала, являющегося основным возмущением.

Как объект регулирования система электропривода описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$L \frac{di}{dt} + R \cdot i + C_e n = U_d;$$

$$M_g - M_c = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt};$$

$$U_d = \frac{U_{d0}}{2} (1 + \cos \alpha);$$

$$\alpha = \pi \frac{(6 - U_y) / (t - \tau)}{6 + U_y};$$

$$\frac{L_{\delta x}}{R_{\delta x}} \frac{dU_y}{dt} + U_y = K_y U_{\delta x};$$

$$M_g = C_m \cdot i;$$

$$E = C_e \cdot n;$$

$$\Phi = \text{const};$$

где $L_{\phi} + L_{gp} = L$ - полная индуктивность якорной цепи;

$U_{\delta x}$ - напряжение на входе усилителя;

U_y - напряжение на входе СИФУ;

$T_{\delta x} = \frac{L_{\delta x}}{R_{\delta x}}$ - постоянная времени входного усилителя;

K_y - коэффициент усиления входного усилителя.

Рассмотрены два случая. I) Преобразователь - безынерционное звено. В этом случае передаточная функция замкнутой системы в режиме поддержания постоянной скорости будет:

$$W_3(p) = \frac{K_n \cdot K_g}{T_n \cdot T_m p^2 + T_n p + 1 + K_n \cdot K_g \cdot \gamma_c}$$

2) Преобразователь — звено чистого запаздывания. В этом случае передаточная функция замкнутой системы записывается в виде:

$$W_3(p) = \frac{K_g \cdot K_n \cdot K_y e^{-\tau p}}{(T_{\Delta x} + 1)(T_n T_m p^2 + T_n p + 1) + \gamma_c \cdot K_g \cdot K_n \cdot K_y \cdot e^{-\tau p}}$$

С целью предварительного определения кривой переходного процесса по скорости в первом случае применялся частотный метод — метод трапеций, во втором — метод $\mathcal{Z}$ — преобразования. Аналитический анализ системы регулирования позволил определить: время переходного процесса, величину перерегулирования, число колебаний и получить качественную картину переходного процесса. Более точное решение может быть получено при применении вычислительных машин.

В данном случае реализация математических моделей и их анализ проводился на электронной аналоговой вычислительной машине ММ-7. По структурной схеме автоматизированного электропривода определена математическая связь между входом и выходом элементов привода. На основании найденных зависимостей, составлена моделирующая схема тиристорного электропривода. При моделировании ставились задачи: 1) проверка результатов теоретических исследований системы электропривода; 2) исследование качества переходных процессов при ступенчатом возмущении по управляющему воздействию разной величины $\pm 10\%$; $\pm 20\%$; $\pm 30\%$; $\pm 100\%$; 3) определение влияния на переходный процесс различных параметров. Исследования показали, что резуль-

ты теоретических расчетов подтверждаются экспериментальными данными, полученными на модели. Динамические параметры мало отличаются от расчетных, разброс не превышает $10 \pm 15\%$, что удовлетворяет требованиям инженерного расчета. Качественные показатели не зависят от величины возмущающего воздействия. Выбранные параметры системы привода дают оптимальное соотношение аperiodичности процесса при одном перерегулировании ($20 \pm 25\%$) и продолжительности переходного процесса не более 0,8 сек.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям о цели проверки теоретических выводов, сделанных в предыдущих главах. Приводится описание основных узлов конструкции электропривода. В качестве тиристорного преобразователя выбрана однофазная мостовая несимметричная схема выпрямления. Такая схема по сравнению с симметричными однофазными позволяет получить лучшую форму тока нагрузки при её индуктивном характере, что особенно важно при работе преобразователя на якорь двигателя. При этом ток нагрузки имеет минимальный коэффициент формы, близкий к единице, в глубокорегулированном режиме и имеет одинаковую с симметричными схемами форму тока при угле регулирования около $\alpha = 0$. Схема управления несимметричного преобразователя содержит меньше элементов, что увеличивает её надежность. Для управления тиристорами применена система импульсно-фазового управления реагирующая на среднее (интегральное) значение управляющего напряжения. Она выполнена на магнитном интеграторе, и построена таким образом, что управляющее напряжение

измеряется как в первый, так и во второй полупериод изменения синхронизирующего напряжения. Такая схема не предъявляет повышенных требований к входному воздействию относительно помехоустойчивости, как например, безынерционная система управления, построенная по вертикальному принципу. Время интегрирования выбирается таким, чтобы, с одной стороны, исключалось влияние пульсаций управляющего напряжения, с другой стороны, было достаточно малым, так как от него зависит инерционность преобразователя.

Протекающий в цепи якоря пульсирующий ток вызывает дополнительные потери в обмотке якоря, снижает использование двигателя по мощности и ухудшает условия коммутации машин. Сглаживание тока в цепи якоря осуществляется с помощью дополнительного дросселя. Целесообразно выбор величины индуктивности дросселя производить, задаваясь коэффициентом использования двигателя по току $K_{и.т.}$. Экспериментально показано, что в случае $K_{и.т.} = 0,7 \div 0,8$ габариты и вес дросселя, динамические качества и использование двигателя по мощности являются приемлемыми.

Приводится методика расчета и экспериментального определения механических характеристик исследуемых механизмов. Впервые экспериментально получены и построены механические характеристики выгрузного и дозирующего устройств в условиях непрерывного производства при экструзии вязкопластичного вещества поликапролактама. Ввиду особенностей химического производства применение прямых методов измерения момента на валу механизма оказалось невозможным. Измерение момента

производилось косвенным методом, рассчитывая электромагнитный момент. Разработана принципиальная схема установки измерения. Определена мощность, потребляемая механизмами при различных режимах работы. Применение тиристорного электропривода позволяет уменьшить установочную мощность приводов выгрузных и дозирующих устройств в 1,8 раза.

Определены экспериментально и рассчитаны постоянные и обобщенные параметры системы, входящие в коэффициенты уравнений. Экспериментальная проверка динамических свойств электропривода подтверждает теоретические выводы и результаты моделирования на аналоговой машине. Получены осциллограммы пуска реальной системы электропривода, из которых видно, что перерегулирование не превышает 20%, длительность переходного процесса не более 0,8 сек, количество колебаний — одно.

Установлено, что замкнутая система автоматического регулирования давления с тиристорным электроприводом обладает линейной статической характеристикой, точность регулирования давления не хуже $0,3 \div 0,5\%$. При динамических испытаниях при ступенчатом изменении давления, система ведет как астатическая с одним колебанием, общее время переходного процесса не превышает 18 сек.

Промышленные испытания на установках производства капронового волокна по непрерывному способу связаны с большими производственными потерями. Поэтому они стали возможны только после комплекса теоретических исследований, испытаний на физической модели и на моделирующей установке. На Клинском комбинате химического волокна и экспериментальном заводе ВНИИХ в разное время смонтированы три тиристорных электропривода: два на выгрузных устройствах

мощностью 8,0 кВт и 3,2 кВт, один на дозирующем устройстве мощностью 0,3 кВт. Результаты непрерывной длительной эксплуатации подтверждают теоретические выводы о продолжительности безотказной работы и технико-экономическую эффективность внедрения тиристорного электропривода вместо вариаторного. Предполагаемый экономический эффект для одной установки производительностью 5 тонн/сутки составляет 32 тыс.руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Доказана возможность замены существующего вариаторного привода выгрузных и дозирующих устройств установки производства капронового волокна на тиристорный электропривод. Для данной установки, для конкретных специфичных условий химических производств этот привод является новым, ранее не исследованным.
- 2) Применение автоматизированного тиристорного электропривода позволяет создать более точную непрерывную систему автоматического регулирования (например, давления в расплавопроводе), вместо существующей релейной на базе вариаторного привода. Кроме того, вследствие более высокой надежности, улучшается коэффициент заполнения годового графика работы установки, что ведет к увеличению производительности примерно на 3,5 ÷ 4,0%.
- 3) Показано, что статический момент выгрузных и дозирующих устройств в условиях капроновых производств, мало зависит от скорости и подчиняется закону нормального распределения. Определены математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение.

Устройства рассматриваются как механизмы с постоянным моментом.

- 4) На основании теоретических и экспериментальных исследований возможных систем электропривода методами количественной оценки надежности и технико-экономического сравнения выявлено, что наиболее перспективным электроприводом выгрузных и дозирующих устройств является система управляемый выпрямитель - двигатель с однофазным тиристорным преобразователем.
- 5) Исследованы механические характеристики электропривода, питаемого от однофазного тиристорного преобразователя при различных значениях индуктивности сглаживающего дросселя. Наличие коммутационных процессов в однофазном преобразователе влияет на механические характеристики привода. Характеристики становятся нелинейными, жесткость их уменьшается, что сужает диапазон регулирования. Линейные характеристики с требуемой жесткостью могут быть получены введением обратной связи по скорости.
- 6) При определении динамических свойств необходимо учитывать место, где применяется тиристорный электропривод. В случае составления передаточных функций системы электропривода дозирующих устройств тиристорный преобразователь рассматривается как безынерционное звено, для выгрузных устройств - как звено инерционное, с запаздыванием.
- 7) Характеристика переходного процесса, полученная теоретически, хорошо согласуется с характеристиками, полученными при моделировании на аналоговой вычислительной машине и экспериментальным путем. Оценка производилась методом доверительного интервала и доверительной вероятности.
- 8) Разработана методика определения механических характеристик

выгрузных и дозирующих устройств. Предложена принципиальная схема установки с использованием тиристорного электропривода для этой цели.

9) Экспериментально определены и хорошо согласованы параметры системы электропривода. Применение сглаживающего дросселя позволяет повысить коэффициент использования двигателя по току.

10) Комплекс теоретических и экспериментальных исследований электропривода выгрузных и дозирующих устройств доказывает рациональность замены вариаторного привода автоматизированным тиристорным электроприводом. Предполагаемая экономическая эффективность составляет 32 тыс. руб в год в пересчете на одну установку капронового волокна производительностью 5 тонн/сутки.

Основные положения диссертации
доложены и обсуждены.

1) На III научно-технической конференции Калининского политехнического института, Калинин, 1968.

2) На второй научно-технической конференции ученых и специалистов высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов и предприятий г.Калинина, Калинин, 1969.

3) На научной конференции по итогам научно-исследовательской работы 1969 года, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина, Краснодар, 1970.

4) На научно-технической конференции студентов и аспирантов, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина, Калинин, 1970.

5) На техническом совете головной проектной организации ИКБ Пластмаш, Краснодар, 1970.

Основные положения диссертационной
работы опубликованы

1) Мотылев О.Ф., Степанян К.С. Тиристорный регулируемый привод шнекового насоса. - В кн.: Экономичность оборудования энергосистем, Калинин, 1968.

2) Мотылев О.Ф., Степанян К.С. Выбор канала регулирования для растворителя непрерывного действия. - В кн.: Экономичность оборудования энергосистем, Калинин, 1968.

3) Мотылев О.Ф., Сибирский В.А. Компенсация возмущений в тиристорном электроприводе. - В кн.: Материалы II и III научно-технической конференции Калининского политехнического института, Калинин, 1969.

4) Мотылев О.Ф. Выбор регулируемого привода шнекового механизма. - В кн.: Материалы II и III научно-технической конференции Калининского политехнического института, Калинин, 1969.

5) Мотылев О.Ф. и др. Система импульсно-фазового управления тиристорным преобразователем привода выгрузного шнека. - В кн.: Вторая научно-техническая конференция ученых и специалистов высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов и предприятий г.Калинина, Калинин, 1969. (Материалы конференции).

6) Мотылев О.Ф. Регулируемый привод шнекового механизма. - В кн.: Вторая научно-техническая конференция ученых и специалистов высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов и предприятий г.Калинина. Калинин, 1969. (Материалы конференции).

7) Мотылев О.Ф. Передаточная функция тиристорного привода шнека. - В кн.: Материалы II и III научно-технической конференции Калининского политехнического института. Калинин, 1969.

8) Мотылев О.Ф. и др. К вопросу о выборе привода углеосных установок. - В кн.: Эффективность энергоустановок. Калинин, 1969.