

Аннотация

В дипломном проекте проведен обширный анализ технологии намотки проволоки с НА различных конструкций и типами электропривода. Определены достоинства и недостатки каждого из них и отдано предпочтение НА принимающих проволоку после волочильного стана на катушки. Решена проблема по созданию частотно-регулируемого электропривода НА по схеме ПЧ-АД где осуществляется стабилизация натяжения проволоки между чистовым блоком стана и катушкой НА. При этом стабилизация натяжения обеспечивается САУ с петлевым тензометрическим регулятором натяжения проволоки который при изменении радиуса наматывания изменяет угловую скорость катушки при постоянной скорости волочения. Осуществлен расчет мощности и выбор приводного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором серии АИР80В4 мощностью 1,5 кВт и преобразователя частоты серии Е-410 ADVE410-М мощностью 2,2 кВт. Построены механические характеристики привода НА при частотном регулировании по закону $U/f = \text{const}$. Исследование разработанного электропривода на виртуальной модели в среде Matlab показали хорошее качество регулирования натяжения, что подтверждается диаграммами переходных процессов.

Аңдатпа

Диссертация Жоба диск түрлі құрылымдары мен түрлері бойынша оралатын сым технологиясы ауқымды талдау жүзеге асырылады. олардың әрқайсысының күшті және әлсіз жақтарын анықтады және катушкалар сызу диірмен кейін қабылдау сым көреді. тұрақтандыру әрлеу диірмен және АТ катушкалар, блоктың арасындағы кернеулі сым асырылады, онда егер-ВР үшін жиілік-бақыланатын диск тұйықтауға жасау арқылы мәселені шешті. Осы шиеленіс катушкалар орамасының радиусы өзгерген кезде тұрақты жылдамдықпен сурет бұрыштық жылдамдығы өзгереді, штамм бақылау кернеулі сым АБЖ тұрақтандыру ілмегімен ұсынған кезде. есептеу қуаты мен тиін-ротордың сериясы AIR80V4 moschnostyu1,5 кВт инвертор сериясы E-410 ADVE410-M 2.2 кВт асинхронды қозғалтқышты жүргізу таңдау жүзеге асырды. $U / f = \text{const}$ заңына сәйкес жиіліктік реттелетін АЖ-ның механикалық сипаттамалары жасалды. Matlab виртуалды қоршаған ортаны үлгісін басқару үшін арналған зерттеу дәлел диаграммалар өтпелі ретінде, жақсы сапалы шиеленіс бақылау көрсетті.

Annotation

In the diploma project, an extensive analysis of the winding technology for wire with HA of various designs and types of electric drive was carried out. The advantages and disadvantages of each of them are determined and the preference is given to HA receiving wire after the drawing mill for coils. The problem of creating a frequency-controlled electric drive HA according to the IF-AD scheme is solved where the tension of the wire is stabilized between the finishing block of the mill and the coil HA. At the same time, the tension stabilization is provided by the automatic control system with a loop tensometric tension regulator of the wire which changes the angular velocity of the coil with a change in the winding radius at a constant drawing speed. Power calculation and selection of a drive induction motor with a squirrel-cage rotor of the series AIR80V4 with a power of 1.5 kW and a frequency converter of the E-410 series ADVE410-M with a power of 2.2 kW are carried out. The mechanical characteristics of the drive HA with frequency regulation according to the law $U / f = \text{const}$ are constructed. The study of the developed electric drive on the virtual model in the Matlab environment showed a good quality of tension control, as evidenced by the transient diagrams.

Содержание

Введение.....	9
1 Намоточные аппараты как объект автоматизации. Постановка задания на проектирование	11
1.1 Место намоточных аппаратов в технологическом процессе изготовления проволоки и их слабые места.....	11
1.2 Регулирование натяжения проволоки на намоточном аппарате с косвенным его контролем.....	13
1.3 Управление электроприводом намоточного аппарата с применением датчика натяжения проволоки.....	15
1.4 Сравнительный анализ основных параметров намоточного аппарата для непрерывного высокоскоростного приема проволоки.....	22
1.5 Автоматизированный электропривод намоточного аппарата с параллельным расположением катушек для высокоскоростного волочения...	24
1.6 Выводы и постановка задания на проектирование.....	26
2 Разработка электропривода намоточного аппарата. Выбор и расчет его элементов	27
2.1 Описание двухкатушечного намоточного аппарата и его основные параметры.....	27
2.2 Выбор и расчет мощности асинхронного электродвигателя.....	32
2.3 Выбор преобразователя частоты по схеме ПЧ-АД.....	38
2.4 Наматывание проволоки на катушку без деформации катушек и обрыва проволоки.....	41
3 Исследование системы стабилизации натяжением проволоки на намоточном аппарате в среде Matlab.....	46
3.1 Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты.....	46
3.2 Структурная схема асинхронного двигателя намоточного аппарата.....	47
3.3 Структурная схема системы блок волочильного стана и намоточного аппарата.....	48
3.4 Устойчивость системы БВС –НА.....	50
3.5 Параметрический синтез устойчивой системы БВС – НА.....	53
4 Раздел безопасности жизнедеятельности.....	56
4.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала волочильном цехе.....	56
4.2 Расчет теплового баланса в волочильном цехе.....	58
4.3 Расчет системы вентиляции в волочильном цехе.....	61
5 Экономическая часть.....	64
5.1 Эффективность использования ПЧ-АД.....	64
5.2 Расчет приведенных затрат.....	65
5.3 Заключение.....	72
5.4 Список литературы.....	73

Введение

По мнению отечественных и зарубежных специалистов, в настоящее время технические возможности позволяют изготавливать волочильное оборудование, работающее на скоростях до 30-40 м/с.

При наличии больших скоростей волочения, естественно возникает вопрос организации непрерывного технологического процесса - задача – волочение-прием проволоки, что позволяет существенно повысить коэффициент использования волочильного оборудования, а соответственно и производительность. Особую актуальность приобретает решение проблемы непрерывного высокоскоростного приёма проволоки в совмещенных процессах, таких как волочение-отжиг, волочение-покрытия, волочение-отжиг-покрытия и так далее, в которых прерывность технологического процесса практически недопустима.

Если вопрос непрерывной подачи проволоки к волочильному стану в какой-то степени решен, то непрерывный высокоскоростной прием проволоки до сих пор не получил широкого практического применения. По имеющимся сведениям, в отечественном машиностроении создание высокоскоростных намоточных аппаратов не вышло за рамки исследовательских работ и промышленных испытаниях опытных конструкций. Промышленные испытания показали недостаточную их работоспособность.

Следует отметить успехи специалистов фирмы «Грюна» (ФРГ) усилиями которой создан намоточный аппарат для стана UDZWS-800/13, позволяющий производить непрерывный высокоскоростной прием проволоки диаметром 0,9-2,6 мм на скоростях 7-20 м/сек.

По материалам периодической печати, рекламным проектам и другим источникам можно сделать заключение, что вопросу создания высокоскоростных намоточных аппаратов придают большое значение. В частности, финский кабельный завод в городе Хельсинки рекламируют автоматическое приемное устройство двух типов ЕКР-4010 и 2010, скорость намотки в которых, соответственно, 25 м/сек и 45 м/сек. К сожалению, о промышленном внедрении данных конструкций пока ничего неизвестно.

На основании имеющихся материалов можно сделать вывод, что создание конструкций высокоскоростных намоточных аппаратов идет в основном в двух направлениях. Первое - создание конструкций сдвоенных намоточных аппаратов для непрерывного высокоскоростного приёма проволоки с соостным расположением катушек и второе - с параллельным расположением катушек. Для закрепления обрезанных концов проволоки на катушках служит захватывающие приспособления, от четкости действия которых во многом зависит нормальная работа намоточного аппарата. Поэтому неудивительно, что большая часть патентов зарубежных стран посвящена созданию именно этих конструкций.

Непрерывный высокоскоростная прием проволоки имеет ряд специфических особенностей, проявление которых на скоростях в пределах 7-

12 м/сек не нарушает технологического процесса намотки, но резко влияет на стабильность процесса с увеличением скорости выше 15 м/сек. Стабильность процесса намотки зависит как от конструкции намоточного аппарата, так и от ряда других причин основными из которых необходимо отметить следующие:

1) Стабильность натяжения проволоки системе, то есть отсутствие изменений натяжения как в отдельные периоды (рывки и ослабления случайного характера), так и постепенные изменения натяжения в течение всего периода намотки.

2) Качественное состояние тарного (шпульного) хозяйства, наличие конструкции шпуль, обладающих достаточной точностью и прочностью, и в тоже время лёгкостью.

3) Наличие работоспособных раскладочных устройств, позволяющих вести равномерную и регулируемую укладку проволоки по всей длине шпули.

4) Создание, в достаточной степени, жестких конструкций как намоточных аппаратов, так вспомогательных к ним устройств.

Трудность создания работоспособных намоточных аппаратов заключается ещё и в том, что при высоких скоростях поступления проволоки от волочильных машин, трудно контролировать ее поведение, что влечет за собой появление случайных явлений в период переходного процесса, с вытекающими отсюда отрицательными последствиями. При любом расположении катушек и любом способе переброса проволоки с наполненной катушки на пустую, необходимым условием стабильности процесса непрерывной намотки является соответствие линейных скоростей керна пустой катушки и поступающей проволоки в период переходного процесса (переброса). Нарушение этого условия приводит либо к недопустимому натяжению проволоки в ничтожно малый отрезок времени, либо к чрезмерному ее ослаблению, что в свою очередь ведет либо к мгновенному ее обрыву, либо к запутыванию с последующим обрывом.

В связи с этим, вопрос создания работоспособного намоточного аппарата для непрерывной высокоскоростной намотки можно будет считать решенным только в том случае, если система управления электроприводом будет обеспечивать надежный контроль и регулирование натяжения проволоки от волочильного стана к намоточному аппарату на скоростях 20-30 м/сек и выше, что и осуществляется в настоящем дипломном проекте. При этом частотно-регулируемый электропривод намоточного аппарата выполнен по схеме ПЧ-АД с управлением от программируемого контроллера.

1 Намоточные аппараты как объект автоматизации. Постановка задания на проектирование

1.1 Место намоточных аппаратов в технологическом процессе изготовления проволоки и их слабые места

Технологический процесс изготовления проволоки условно можно представить структурной схемой, показанной на рисунке 1.1, где выделено два основных технологических процесса:

- 1) Собственно процесс волочения на многократном стане.
- 2) Намотка готовой проволоки на приемную катушку.

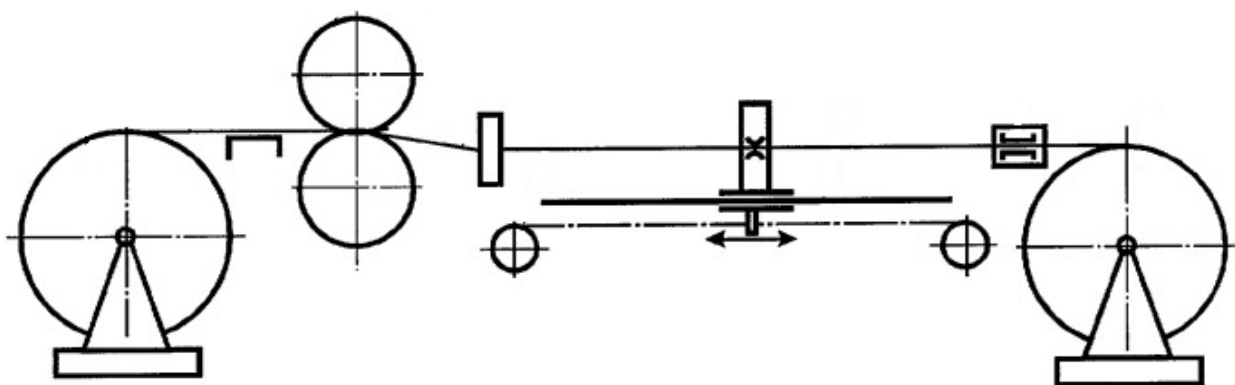


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема намотки проволоки

Собственно, технологический процесс волочения представляет собой последовательное и n -кратное повторение где n - число волочильных аппаратов (станов), волочения проволоки с противонатяжением. Известно, что в технологических процессах волочения с противонатяжением можно выделить три технологически взаимосвязанных операции: формирование проволоки в волоке; наматывание на волочильный аппарат и создание противонатяжения.

Технологически они выполняются с помощью соответственно: волоки, исполнительного механизма, волочильного барабана и исполнительного механизма, устройство противонатяжения. Каждый из механизмов привода волочильного аппарата и противонатяжения оснащаются самостоятельной системой автоматизированного управления с соответствующей скоростью волочения и усилием натяжения.

Намоточный аппарат оснащается самостоятельной системой автоматического управления. Размотка и очистка проволоки управляется отдельными автоматическими системами.

Таким образом, автоматизация технологических процессов производства проволоки на многократных волочильных станах выражается в синтез 2+2 системы автоматического управления отдельными соответствующими

технологических процессов волочения (2 – автоматизация сил волочения и противонатяжения, а 2 – размотка и намотка).

Согласованное управление этими системами осуществляется цифрой управляющей машиной или программируемым контроллером.

В соответствии с функциональными назначениями введены следующие классификации систем управления:

- 1) Систем управления силовыми параметрами;
- 2) Систем с противонатяжением;
- 3) Система управления намоточного аппарата;
- 4) Система управления размотки и очистки проволоки;

Особенностью синтеза известных до настоящего времени систем управления является то, что особенности технологических процессов волочения, упругие пластические деформации проволоки учитывались слабо или вообще не учитывались, то есть эти системы строились в основном, как системы стабилизации скорости исполнительного двигателя. Результатом этого является низкая производительность и низкая надежность многократного волочильного стана. Эффективным направлением, на наш взгляд, является повышение качества изготавливаемой проволоки и увеличение производительности стана, разработка методов синтеза исполнительного САУ стана, учитывающие динамические особенности технологического процесса производства проволоки. С этой целью можно осуществить идентификацию процесса формирования проволоки в волоке, а также найти математическую модель.

Прямоточные станы для многократного волочения проволоки отличаются высокой производительностью, возможностью получения проволоки с более высокими физико-механическими характеристиками, меньшими удельными энергозатратами. Однако, их использование ограничено из-за отсутствия надежных систем управления, обеспечивающих оптимальное протекание процесса волочения.

Существующие системы автоматического регулирования обеспечивают достаточно стабильную работу волочильных станов в установившихся режимах. Однако, пусковые режимы характеризуются значительными динамическими нагрузками и обрывностью проволоки, что снижает производительность и надежность станов. Причинами этого является наличие различных возмущений, действующих на волочильный стан: технологические возмущающие воздействия, связанные с работой намоточного и размоточного устройства; возмущения, вызываемые наличием упругих связей в электромеханической системе, кинематических погрешностей, зазоров в редукторе.

В связи с изложенным особый интерес представляет анализ влияния различных возмущающих воздействий на работу прямоточного волочильного стана и намоточного аппарата, оценка возможности повышения информативности системы с косвенным контролем силовых параметров

волочения и создания системы управления для проведения волочения проволоки в оптимальном режиме.

К поддержанию оптимальных технологических параметров намоточного аппарата (НА) можно отнести следующее:

1) разработка способов управления электроприводом НА, отличающийся тем, что натяжение проволоки предложено изменять по гиперболическому закону в функции радиуса наматывания;

2) корректировка методики синтеза корректирующего устройства автоматизированного электропривода, учитывающая специфические свойства динамических характеристик волочильного стана и НА;

3) выбор путей повышения управляемости существующего асинхронного электропривода по схеме ПЧ-АД;

4) разработка новых методов исследования и ограничения электромагнитных динамических моментов.

1.2 Регулирование натяжения проволоки на намоточном аппарате с косвенным его контролем

С целью упрощения конструкции параметрических регуляторов натяжения проволоки разработаны варианты регуляторов с косвенным контролем натяжения, исключающие необходимость в датчиках натяжения [6].

В основу релейного регулятора натяжения проволоки, обеспечивающего постоянство момента приводного двигателя положен принцип стабилизации тока статора. Структурная схема системы автоматического регулирования натяжения (САРН) для намоточного аппарата НК-1/1000 с приводом от асинхронного двигателя с фазным ротором приведен на рисунке 1.2.

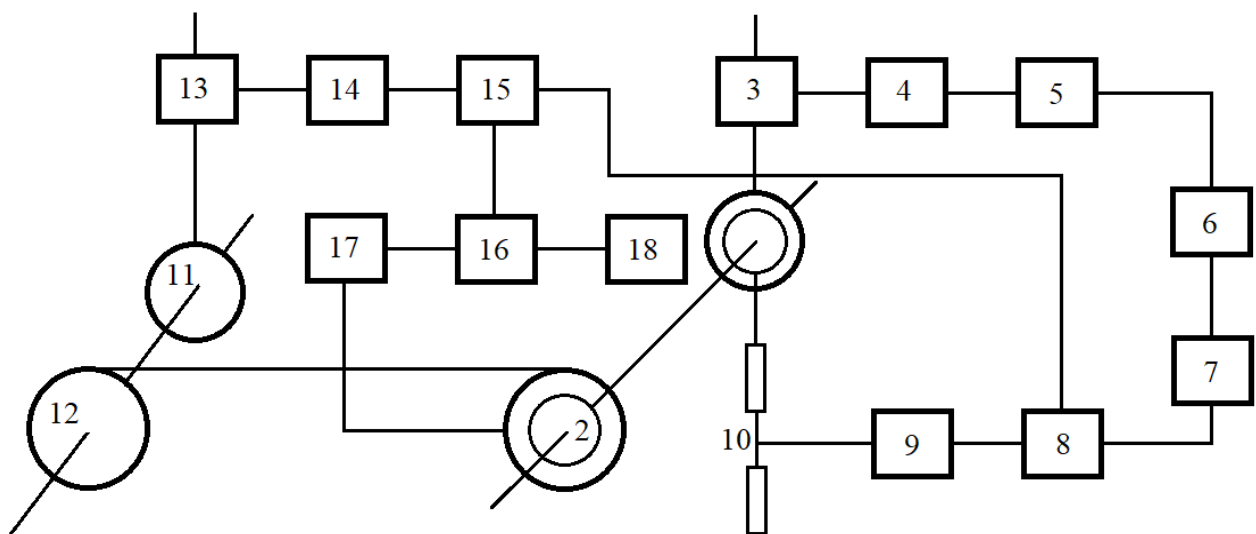


Рисунок 1.2 - Структурная схема САРН намоточного аппарата

Схема содержит двигатель 1 намоточного аппарата, приводящий в движение приемную катушку 2, датчик 3 тока статора двигателя, выход которого подключен через выпрямитель 4 на вход интегрирующего звена 5. Выход интегрирующего звена подключен на вход релейного элемента 6. Релейный элемент 6 через инвертор 7 и первый вход усилителя 8 подключен на вход тиристорного коммутатора 9, который подключен параллельно части резисторов 10 роторной цепи двигателя 1. В цепь статора двигателя 11 чистового барабана 12 волочильного стана включен датчик тока, выход которого через пороговый элемент 14 и управляемый одновибратор 15 подключен на второй вход усилителя 8. Управляющий вход одновибратора 15 через блок 16 памяти подключен к выходу датчика 17 числа пар слоев. Сброс блока памяти осуществляется датчиком 18 исходного положения выдвигной панели намоточного аппарата. Работа САРН заключается в следующем: при пуске намоточного аппарата релейный элемент 6 за счет пускового тока двигателя 1 срабатывает и через инвертор 7 снимает управляющее воздействие с усилителя 8, и тем самым с коммутатора 9. Двигатель 1 переходит на работу с более мягкой регулировочной характеристикой « α ». Как только ток двигателя 1 станет ниже порога срабатывания релейного элемента 6, последний возвращается в исходное положение, тиристорный коммутатор 9 включается, шунтируя часть резистора 10 роторной цепи двигателя 1, и последний переходит на более жесткую регулировочную характеристику «С», развивая повышенный вращающий момент. Затем цикл повторяется, в результате чего, двигатель 1 работает на промежуточной регулировочной характеристике, параллельно оси координат и лежащей между двумя характеристиками «С» и « α ». При совместном пуске намоточного аппарата с волочильным станом с целью исключения провисания проволоки динамическая составляющая тока двигателя чистового барабана 12 через датчик тока 13, пороговый элемент 14 и управляемый одновибратор 15 воздействует на второй вход усилителя 8, управляющего тиристорным коммутатором 9, обеспечивая повышенный пусковой момент двигателя намоточного аппарата. При спадании динамической составляющей тока двигателя 11 ниже порога срабатывания элемента 14, одновибратор 15 путем воздействия на второй вход усилителя 8 продолжает удерживать включенное состояние тиристорного коммутатора 9 и, следовательно, максимальный момент двигателя 1 в связи с повышенным относительным моментом инерции намоточного аппарата по сравнению с чистовым барабаном волочильного стана. Корректировка времени запаздывания работы одновибратора осуществляется по его управляющему входу от блока 16 памяти (запоминающему исходный момент инерции катушки) вход которого подключен к датчику 17 числа пар слоев проволоки на катушке.

Для намоточных аппаратов типа UDS-800 фирмы «СКЕТ» ГДР с приводом от короткозамкнутого асинхронного двигателя и индукционной муфтой скольжения также разработан релейный регулятор с обратной связью по току статора.

Результаты испытаний релейного регулятора натяжения с обратной связью по току статора сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Изменение натяжения проволоки от радиуса намота

№ и тип стана	Скорость волочен. м/мин	Диаметр пров. мм/мат	% изм. радиуса намота	Ток возб. муфты, А	Ток статора, А	Натяжение, Н	% изм. натяж. к исх.
1	2	3	4	5	6	7	8
88/630/7	760	1,4/ст.60	0	1,5	6,5	142	100
			25	1,4		111,7	78,6
			50	1,3		101,69	71,7
			75	1,25		93,1	65,5
			100	1,2		88,2	62,1
87/630/7	760	1,4/ст.60	0	1,5	6,5	190,76	100
			25	1,4		172,6	90,5
			50	1,3		141,9	74,1
			75	1,25		103,1	54,2
			100	1,2		98,8	54,1

Из таблицы 1.1 видно, что степень ослабления натяжения проволоки от начального составляет 38-46%.

Для электропривода намоточного аппарата UDS-400 фирмы «СКЕТ» ГДР разработан регулятор натяжения с контролем диаметра намота. Принцип регулирования сводится к автоматическому снижению тока возбуждения муфты с помощью однофазного тиристорного регулятора, дополнительно подключаемого в цепь питания муфты, обратно-пропорционально диаметру намота. Диаметр намота измерялся с помощью бесконтактного выключателя поверхности типа КВП-8, реагирующего на металлическую поверхность.

1.3 Управление электроприводом намоточного аппарата с применением датчика натяжения проволоки

Основными факторами, влияющими на работу намоточного аппарата, являются управляющие воздействия (изменения момента инерции катушки и радиуса наматывания), и случайные воздействия (момент холостого хода обрыв проволоки в волочильном стане).

Момент холостого хода намоточного аппарата зависит от качества изготовления механизма привода катушки, как фактор случайного воздействия не рассматривался. Остановка и последующий пуск намоточного аппарата при аварийной остановке (обрывах проволоки) производится различными моментами инерции по сравнению с пуском пустой катушки [7].

Для оценки правильности выбора корректирующего устройства достаточно проведение пассивного эксперимента при различных значениях момента инерции катушки и радиуса наматывания. В связи с тем, что момент инерции катушки зависит от радиуса наматывания, эксперимент можно

рассматривать как однофакторный. Исследование переходных процессов, происходящий в электроприводе намоточного аппарата, проводилось на 3-х уровненом эксперименте при совместном пуске и остановке волочильного стана при пустой и заполненной на 50% и 90% катушке.

Проводилось осциллографирование натяжения наматываемой проволоки, тока якоря двигателя и скорости волочения в переходных и статических режимах.

Натяжение наматываемой проволоки измерялось датчиком натяжения (рисунок 1.3) состоящего из двух пассивных 1 и одного измерительного роликов, и стандартной силоизмерительной системы УСП-1, класс точности 1,5, состоящий из тензорезисторного датчика 3 типа ДСТК на 1000 кГ и преобразователя типа ПА-1.

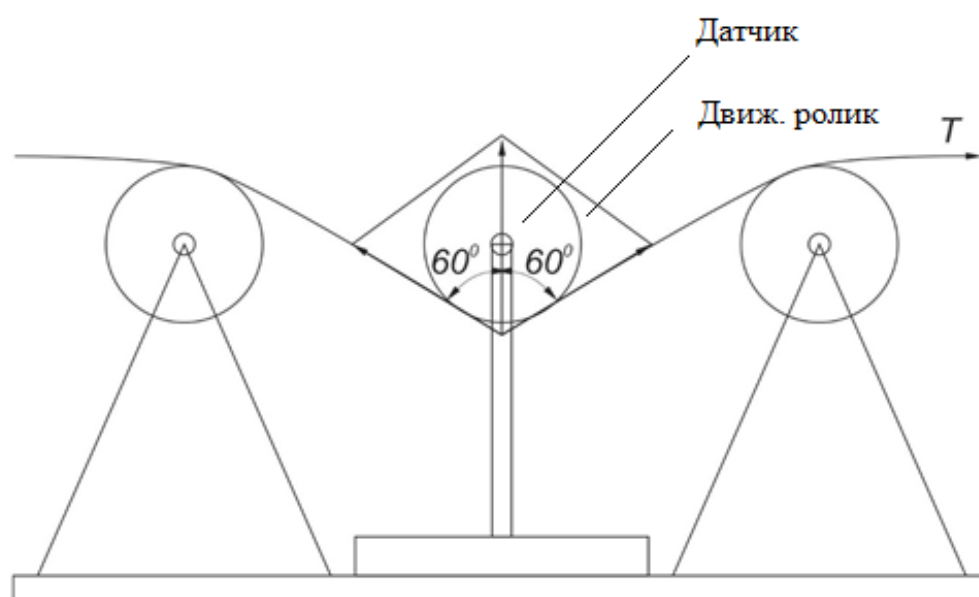


Рисунок 1.3 – Система с косвенным контролем

Ролики 1 и 2 расположены так, чтобы угол охвата ролика 2 проволокой был равным 120°, причем сила, действующая на тензорезисторный датчик, направлена перпендикулярно к плоскости датчика и разделяет угол охвата пополам (рисунок 1.3). Это повышает точность измерения натяжения проволоки и обеспечивает равенство силы, действующей на тензорезисторный датчик. Сигнал с выхода преобразователя 4 подается на гальванометр МОО1. 2 через потенциометрическую схему.

4.2.2 Тензометрические датчики. В основе работы тензометрических датчиков (тензорезисторов) лежит тензоэффект, заключающийся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов при их механической деформации.

Тензорезисторы используют для измерения давления жидкости и газа, а также при измерении упругих деформаций материалов: давлений, изгибов, скручивания и т.д.

Характеристикой тензоэффекта материала служит коэффициент

тензочувствительности K_T , определяемый как отношение изменения сопротивления к изменению длины проводника:

$$K_T = \delta R / (\delta l) = E (\delta R / \sigma), \quad (1.1)$$

где $\delta R = R/R$; $\delta l = l/l$; R – приращение сопротивления при изменении длины l на l ; E – модуль упругости материала; σ – механическое напряжение. Коэффициент тензочувствительности связан с деформацией материала и его удельным сопротивлением выражением

$$K_T = 1 + 2\mu + \delta\rho / (\delta l), \quad (1.2)$$

где μ – коэффициент Пуассона; $\delta\rho$ – относительное приращение удельного сопротивления ρ материала при деформации.

Коэффициент тензочувствительности металлов, наиболее часто применяемых для тензорезисторов, близок к двум: для константана – 2; для нихрома – 2,2; для хромеля – 2,5. Для полупроводниковых материалов $K_T = \delta\rho / (\delta l)$, и он намного больше, чем у металлов. Например, для германия $K_T \approx 100$. Однако полупроводниковые материалы характеризуются малыми механической прочностью и стабильностью по сравнению с металлами.

В качестве тензорезистивного материала можно использовать сплавы с малым ТКС (манганин, константан, нихром, никелин), платиносеребрянные и платиновольфрамовые полупроводниковые материалы (германий, кремний).

Наиболее распространены тензорезисторы, выполненные из металла. Они разделяются на проволочные и фольговые (рисунок 1.4).

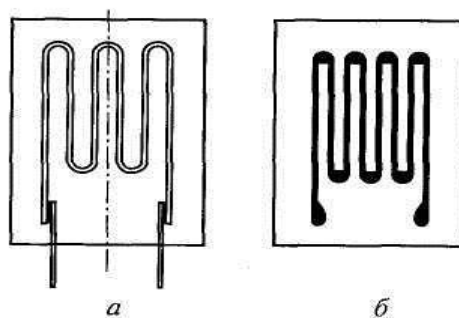


Рисунок 1.4 – Проволочный (а) и фольговый (б) тензорезисторы

Проволочные тензорезисторы выполняют из проволоки диаметром 0,002...0,05 мм, которую укладывают частыми петлями на тонкую бумагу или лаковую пленку и приклеивают к ней (рисунок 1.4, а). К концам проволоки припаивают или приваривают медные выводы. Сверху преобразователь покрывают лаком. Материал для пленки выбирают в зависимости от условий эксплуатации. Резисторы на пленке из клея БФ-2 работают в диапазоне

температур от -40 до 70 °С, а на бакелитовом лаке – до 200 °С. Для более высоких температур используют специальные высокотемпературные клеи или цементы.

Тензорезистор наклеивают на поверхность испытуемой детали таким образом, чтобы его продольная ось была расположена в направлении измеряемой деформации, т.е. чтобы возможные деформации детали происходили вдоль петель резистора. Это позволяет точнее измерять линейные деформации.

Наиболее часто используют преобразователи с базой (длиной петель) 5...20 мм, обладающие сопротивлением 30...500 Ом. Их номинальный рабочий ток, определяемый условиями отвода выделяемых в них потерь энергии, находится в пределах десятков миллиампер. Максимально допустимые относительные деформации не превышают 0,3 %.

Поскольку изменение сопротивления тензорезисторов, вызванное деформацией, весьма мало и колеблется от единиц миллиом до нескольких десятых долей ома, то для измерений применяют высокочувствительные потенциометрические и мостовые схемы. Чтобы повысить чувствительность тензорезисторов, их можно включать в два и даже четыре плеча мостовой схемы.

Характеристика проволочных тензорезисторов в пределах упругой деформации близка к линейной и определяется выражением

$$\Delta R = R K_T \delta l = (\rho K_T / S) \Delta l, \quad (1.3)$$

где S – площадь сечения проволоки.

Отклонение от линейности характеристики не превышает 0,1 %. Чувствительность проволочного тензорезистора

$$K_S = d(\Delta R) / d(\Delta l) = \rho K_T / S. \quad (1.4)$$

Фольговые преобразователи (рисунок 1.4, б) более совершенны, чем проволочные тензорезисторы. Они имеют решетку из тонких полосок фольги прямоугольного сечения толщиной 4...12 мкм, полученную травлением и нанесенную на лаковую подложку. Благодаря большей площади контакта полосок фольгового тензорезистора с объектом измерения его теплоотдача значительно выше, чем у проволочного, что позволяет увеличить ток, протекающий через резистор, до 0,5 А, и тем самым повысить чувствительность тензопреобразователя. Другое достоинство фольговых тензорезисторов заключается в возможности изготовления решеток сложного профиля, которые наиболее полно удовлетворяют условиям измерений.

В связи с тем, что одной из целей является сохранение качества проволоки, основным показателем которого является предел прочности, то достаточно определить величину его отклонений в зависимости от намотанного

слоя по сравнению с пределом прочности проволоки, полученной после волочильного стана.

Метод будет заключаться только в применяемых намоточных аппаратах с существующим электроприводом, обеспечивающим постоянство натяжения проволоки с помощью петлевого регулятора, и предложенным в работе электроприводом, изменяющим натяжение в функции радиуса наматывания. Полное устранение неоднородностей во всех экспериментах в производственных условиях невозможно в соответствии с теорией «парного метода» обязательно. Однако, несмотря на это, для проведения одного подобного эксперимента удалось выбрать заготовки проволоки одной и той же марки, и плавки с одинаковыми пределами прочности и диаметра. Для исследуемой пары при волочении проволоки одинаковые маршруты и скорости волочения. Наматывание проволоки производят на катушке с одинаковыми размерами, изготовленных из одинакового материала. На катушки было намотано равное количество проволоки. В процессе волочения отбирались образцы проволоки, полученные после волочильного стана, через различные промежутки времени для определения их предела прочности, и фиксировалось количество обрывов проволоки в волочильном стане. Это было необходимо для сравнительного анализа качества проволоки, полученной после волочильного стана и намоточного аппарата.

Анализ результатов измерений проводился по соответствующим радиусам наматывания с использованием способа наименьших квадратов.

Для оценки срока службы катушек необходимо было отобрать их определенное количество, на которые наматывание проволоки производилось бы на исследуемых намоточных аппаратах соответственно до их разрушения. Однако, в производственных условиях проведения такого эксперимента невозможно из-за нехватки катушек. Поэтому, учитывая, что разрушение катушек происходит в основном из-за межвиткового заклинивания проволоки в намотанной катушке, достаточно установить, имеет ли место защемление проволоки в различных слоях намотанной катушки в процессе ее разматывания на размотанном устройстве агрегата гальванопокрытия. В размоточном устройстве ось вращения катушки устанавливается вертикально, что благоприятствует определению существования или отсутствия защемления проволоки визуально. Для этого при отборе образцов проволоки для определения их предела прочности конец проволоки на катушке освобождался и по состоянию верхних слоев проволоки определялось, имеет ли место защемление проволоки. При защемлении проволоки верхние слои проволоки не должны осыпаться. Если верхние слои проволоки осыпаются, то отсутствует защемление проволоки, а это значит, что срок службы катушек будет зависеть только от качества их эксплуатации.

На рисунке 1.4, 1.5, 1.6 приведены осциллограммы совместного пуска волочильного стана с намоточным аппаратом.

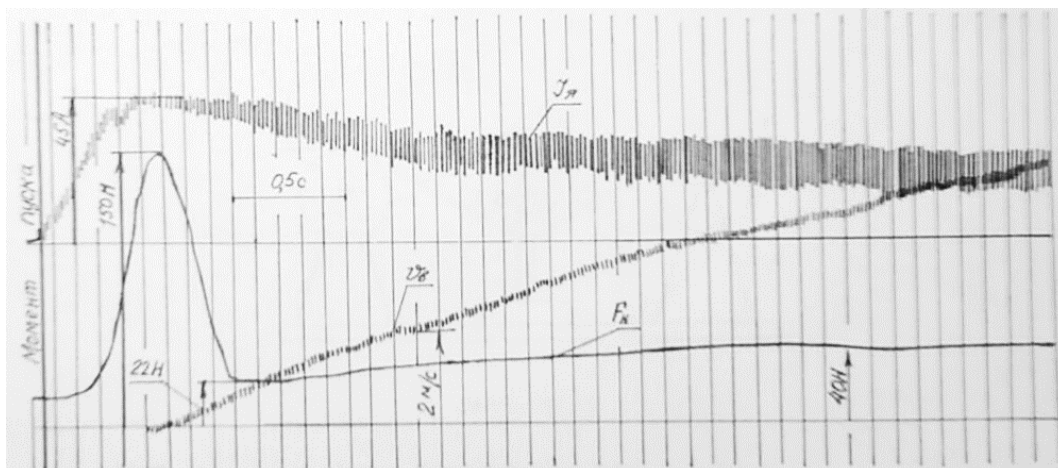


Рисунок 1.4 - Осциллограмма совместного пуска волочильного стана с намоточным аппаратом при пустой катушке

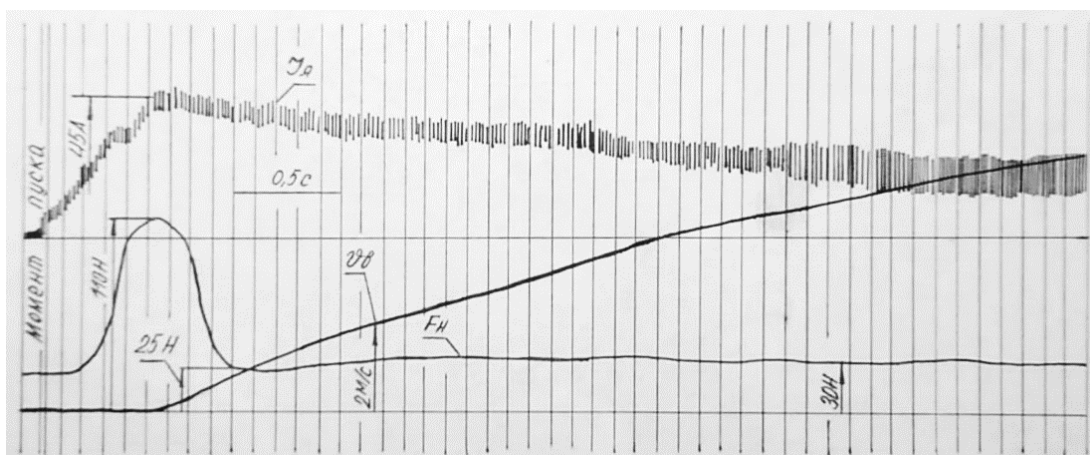


Рисунок 1.5 - Осциллограмма совместного пуска волочильного стана с намоточным аппаратом с катушкой заполненной на 50%

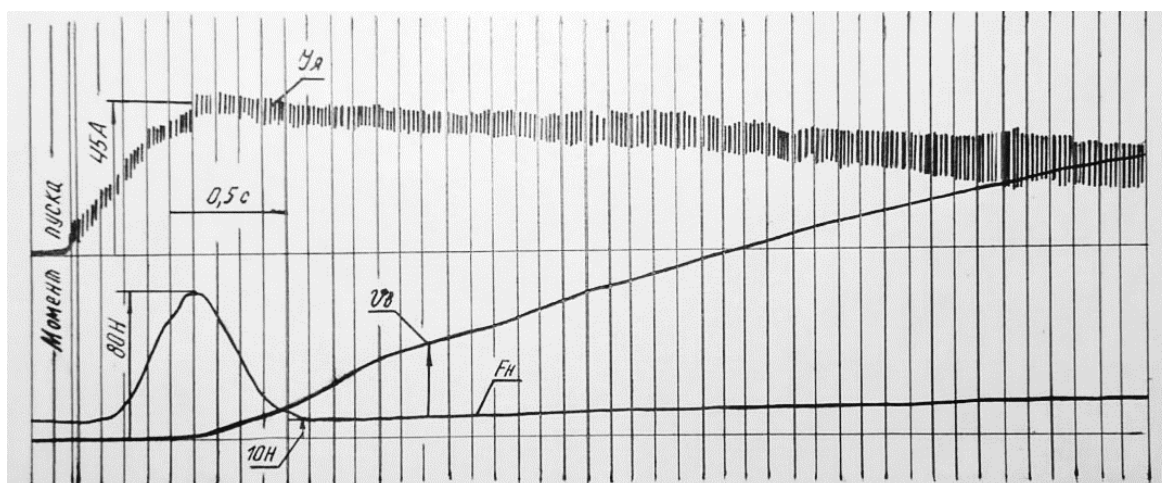


Рисунок 1.6 - Осциллограмма совместного пуска волочильного стана с намоточным аппаратом с катушкой заполненной на 90%

На рисунке 1.4, 1.5, 1.6 приведены осциллограммы совместного пуска волочильного стана с намоточным аппаратом пустой и заполненной на 50% и на 90% катушках. Из осциллограммы видно, что волочильный стан начинает трогаться после нажатия кнопки «пуск» через 0.5 секунд. Это связано с тем, что напряжение в цепи якоря двигателя волочильного стана возрастает пропорционально напряжению задатчика интенсивности. И только при достижении напряжением якоря двигателя волочильного стана уровня, при котором момент, развиваемый на валу двигателя, преодолевает силы трения покоя (суммарный момент, состоящий из сил трения покоя в механизме передачи и в трущейся паре волока-проволока), начинается процесс волочения. Увеличение тока и натяжения проволоки до начала движения проволоки связано с тем, что датчиком скорости волочения является тахометрический мост, который в процессе настройки специально разбалансирован. Это сделано для того, чтобы максимум натяжения проволоки достиг в момент трогания и исключить проскальзывание проволоки по чистовому барабану, так как это приводит к быстрому износу поверхности барабана.

С момента трогания волочильного стана наблюдается снижение величины натяжения до минимальной величины. Это можно объяснить влиянием силы трения покоя и разницей необходимого и развиваемого на валу катушки динамических моментов, в момент трогания намоточного аппарата. При дальнейшем плавном увеличении скорости волочения происходит снижение этой разницы до нуля, и величина натяжения достигает заданной для данного радиуса наматывания в установившемся режиме пуска волочильного стана задается с помощью датчика интенсивности и составляет 10 секунд [13].

Отличительной особенностью осциллограмм, показанных на рисунке 1.4, 1.5, 1.6, является то, что максимум натяжения проволоки при пуске с пустой катушкой составляет 150 Н, а с катушками, заполненными на 50% - 110 Н и на 90% - 80 Н. Это связано, с тем, что радиусы наматывания разные, а максимумы моментов, развиваемых на валу двигателя пропорциональны току якоря двигателя и равны. Что говорит о том, что максимум натяжения при пуске напрямую зависит от наполненности катушки.

Регулирование скорости волочения осуществляется изменением подводимого к последовательно включенным якорям напряжения. При изменении подводимого напряжения происходит параллельное смещение характеристик и противонатяжения, сохраняют свои значения.

Другой отличительной особенностью этих осциллограмм, является то, что интенсивность снижения тока якоря двигателя тем меньше, чем больше заполнена катушка. Это объясняется тем, что угловое ускорение двигателя намоточного аппарата тем меньше, чем больше радиус наматывания при одинаковом ускорении волочильного стана. Остановка стана после завершения намотки должна осуществляться автоматически при помощи счётчика заданной длины или выключателя наполнения намоточной катушки проволокой.

1.4 Сравнительный анализ основных параметров намоточного аппарата для непрерывного высокоскоростного приема проволоки

1.4.1 Конструкции намоточных аппаратов с соосным расположением катушек. На намоточных аппаратах трех основных отечественных конструкций при переносе проволоки на пустую катушку производится выравнивание линейной скорости в шейке пустой катушки со скоростью проволоки. Отличается же они тем, что на аппарате первой конструкции сначала выпадает в захваты, а затем на шейку катушки, что вызывает резкий рывок проволоки, в виду разницы окружных скоростей и захватов и шейки, а на аппарате второй конструкции проволока водится сначала в контакт с шейкой пустой катушки и лишь потом подается в захваты для закрепления. В конструкции намоточного аппарата третьей конструкции, перед перебросом проволоки, пустой катушке сообщаются обороты равные оборотам наполненной катушки, а затем пустая катушка разгоняется до необходимых оборотов при помощи петлевого регулятора [7].

Аналогичные конструкции зарубежных стран имеют некоторые отличительные особенности. Так, например, на аппарате номер 1 уменьшение рывков проволоки при перебросе осуществляется за счёт соединения дисков захватов с катушками через фрикционные муфты, на втором аппарате те же цели достигаются при помощи конденсатора рывков, на аппарате номер 3 нет захватов, а закрепление проволоки на шейке пустой катушки производится путем наложения на первый ряд витков, витков второго ряда.

На аппарате номер 4 производится раскладка по шагу на наполненную катушку и вовремя переброса проволоки на пустую катушку. На аппарате номер 5 захват проволоки для ликвидации рывков осуществляется в строго определённом месте, а на аппарате номер 6 проволока в захваты подаётся приводным роликом, причём, для более надежного закрепления проволоки между дисками захватов помещаются спиральный пружины. Заслуживает внимание намоточный аппарат номер семь, у которого все процессы по замене катушек, разбраковке и так далее полностью автоматизированы, предусмотрена бесступенчатая регулировка шага раскладки, счётчик метража не имеет механических частей не требует установки на ноль. Для загрузки аппарата катушками его приводные головки поворачивается на 180 градусов.

В конструкции аппарата номер 8 порезка проволоки выполняется специальными роликовыми ножами. На аппарате фирмы «Кемсон» регулировка скорости намотки выполняется при помощи электромагнитных муфт, управляемых постоянным током.

1.4.2 Конструкции намоточных аппаратов с параллельным расположением катушек. Из отечественных разработок представлен намоточный аппарат конструкции ВНИИЕМЕТМАШа. Отличительной особенностью аппарата является устройство для подачи проволоки в захваты выполненное в виде ролика, на поверхности которого имеется бесконечная спиральная канавка. При перебросе проволоки окружная скорость захвата

пустой катушки выравниваются со скоростью намотки проволоки, скорость намотки регулируется петлерегулятором. Раскладка проволоки выполняется кулачково-рычажным механизмом. Аналогичные конструкции зарубежных стран имеют некоторые отличительные особенности. Так, например, на намоточного аппарате, закрепление конца проволоки выполняется подпружиненным диском с электромагнитным приводом, переброс проволоки выполняется роликом, перемещающимся на винте, регулировка скорости осуществляется электромагнитными муфтами. А на аппарате номер 1 подача проволоки в захваты выполняется фигурной гайкой, на аппарате предусмотрено устройство для автоматической смены катушек, натяжение проволоки регулируется пневмокомпенсатором, управление раскладкой осуществляется дистанционно на ходу. Заслуживают внимание намоточные аппараты, у которых катушки закрепляются на поворотном диске. Такая конструкция позволяет устранить рывки проволоки при перебросе ее на пустую катушку и выравнивать скорость шейки пустой катушки со скоростью проволоки. На намоточном аппарате номер 2 переброс проволоки осуществляется убирающимися роликами с пневмоприводом. На намоточном аппарате номер 3 кроме основных катушек имеются две вспомогательные, на которые при перебросе наматывают несколько витков проволоки перед их закреплением и порезкой.

1.4.3 Конструкции захватных устройств [4]. Захватные устройства представлены конструкциями, из которых одно устройство запатентованного Франции, одно в Англии и остальные в США. Все эти устройства предназначены для намоточных аппаратов с соосным расположением катушек, но с некоторыми изменениями могут быть применены для аппаратов с параллельным расположением катушек. Так как надежность работы намоточного аппарата значительной степени зависит от надежности закрепления конца проволоки, то конструкциям этих устройств должно быть уделено должное внимание. По своему устройству захватные конструкции могут быть разделены на конструкции обеспечивающие автоматическое освобождение от закрепленного в них конца проволоки после остановки катушки конструкции, и конструкции, предназначенные для обеспечения необходимой длины не намотанного на катушке конца проволоки, и конструкции для облегчения освобождения закреплённого конца проволоки.

В захватных устройствах, предназначенных для автоматического освобождения конца проволоки, для удержания ее конца используются центробежные силы, а для освобождения пружины.

В конструкциях, обеспечивающих необходимую длину не закрепленного на катушке конца проволоки имеются вспомогательные поверхности для намотки проволоки.

Конструкции, облегчающие освобождение закрепленного в них конца проволоки имеют в своём составе подпружиненные держатели.

1.4.4 Устройство для автоматической смены катушек. Эти устройства представлены двумя конструкциями.

Особенностью конструкции номер один является то, что она может быть использована только для аппаратов с консольным креплением катушек и для вполне конкретного размера катушек. С другой стороны, такого типа устройства могут иметь ограниченное применение, так как крепление приводов с катушками на штоке приводного цилиндра нецелесообразно для тяжелых намоточных аппаратов.

Другое устройство для автоматической смены катушек предназначено для механизации замены катушек имеющих разные размеры. Подача и удаление катушек осуществляется в стационарно установленный аппарат при помощи подвижной платформы, а затем и установка при помощи приводных опор.

1.5 Автоматизированный электропривод намоточного аппарата с параллельным расположением катушек для высокоскоростного волочения

При создании электропривода двухкатушечного намоточного аппарата непрерывного съема проволоки были использованы результаты работ по разработке намоточных устройств проволочных станков и моталок других агрегатов. Стоит упомянуть, что необходимо было учесть выполнение принципиально нового технологического требования: осуществление режима работы для переброса проволоки с заполненной катушки на пустую без потери натяжения, петлеобразования, рывков и подобных помех в процессе.

Намоточные аппараты с параллельным расположением катушек имеют более широкие возможности по способу и реализации устройства переброса. Это связано, прежде всего, с тем, что при параллельном расположении катушек появляется возможность маневрировать не только направлением и положением движущейся проволоки относительно наматываемых катушек, но и размещением последних.

Одним из наиболее перспективных устройств для смотки готовой проволоки является разработанный двухкатушечный намоточный аппарат с параллельным размещением катушек. Устройство и принцип действия данного аппарата приведены на рисунке 1.7.

Намоточные катушки 1, 2 установлены на фиксирующих дисках 3, 4 с захватывающими устройствами 5,6, крепящиеся на приводных валах 7,8. Последние через муфты 9,10, соединены с приводными электродвигателями 11 и 12. Двигатели расположены на столе 13, имеющим возможность вращения вокруг неподвижного вала 15 от электродвигателя 14. Между катушками 1, 2 установлены ножи 16,17 и подвижная шторка 18. Переброс проволоки с заполненной катушки на пустую осуществляется следующим образом: проволока 19 наматывается на катушку 1. После ее заполнения включается привод катушки 2 и происходит ее разгон. Причем направления вращения

катушек противоположное. Разгон катушки 2 осуществляется до уровня, при котором линейная скорость вращения шейки катушки равна линейной скорости движения проволоки. При достижении равенства этих скоростей шторка 18 поднимается и начинается разворот стола. На рисунке 1.7 (в) показано расположение элементов системы в момент разворота на 90 градусов.

По окончании разворота рис. 1.7 (г) стола на 180 градусов шторка 18 опускается, прижимая проволоку 19, которая, огибая шейку катушки 2 и нож 16, попадает в захват 6 и обрезается ножом 17. Катушка 1 останавливается и далее происходит намотка на катушку 2. После ее заполнения цикл повторяется с той лишь разницей, что стол поворачивается в противоположную сторону.

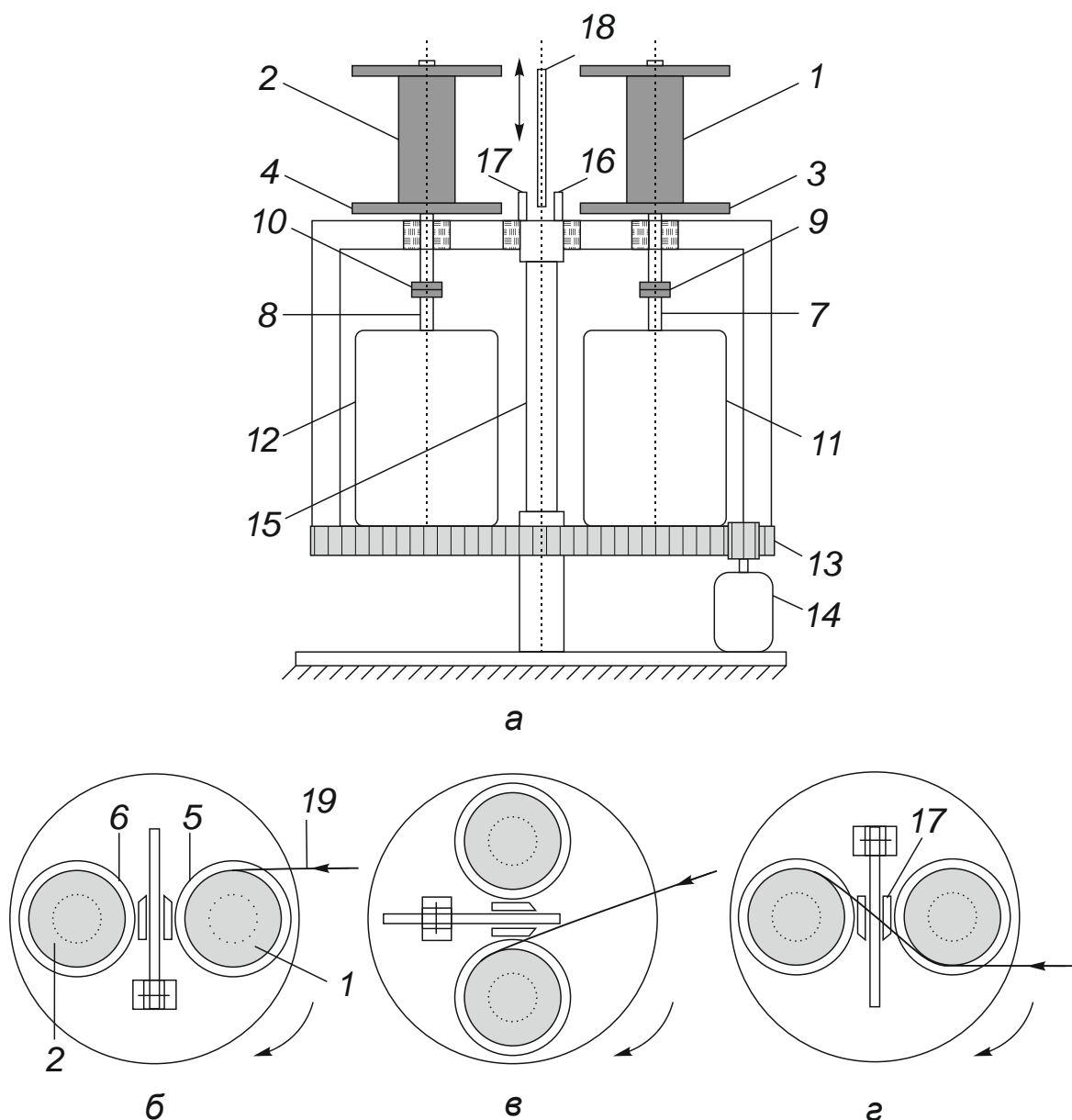


Рисунок 1.7 Устройство (а) и принцип действия (б-г) двухкатушечного намоточного аппарата

1.6 Выводы и постановка задания на проектирование

Как было сказано выше, вопрос создания работоспособного намоточного аппарата для непрерывной высокоскоростной намотки можно будет считать решенным только в том случае, если система управления электроприводом будет обеспечивать надежный контроль и регулирование натяжения проволоки от волочильного стана к намоточному аппарату на скоростях 20-30 м/сек и выше, что и осуществляется в настоящем дипломном проекте. При этом частотно-регулируемый электропривод намоточного аппарата выполнен по схеме ПЧ-АД с управлением от программируемого контроллера.

В соответствии с обоснованными технологическими требованиями к автоматизированному электроприводу намоточного аппарата с параллельным расположением катушек для высокоскоростного волочения необходимо решить следующие задачи:

1. Предложить и обосновать энергетический подход к анализу взаимодействия проволоки и шпули намоточного аппарата, на основании чего определить рациональный закон изменения натяжения, при котором натяжение в процессе намотки снижается в функции радиуса проволоочный паковки.

2. Разработать методику расчета нагрузочных режимов электроприводов катушек и поворотного стола двухкатушечного намоточного аппарата, имеющего конструктивные отличия от известных и подобных ему агрегатов.

3. В качестве ведущего электропривода, обеспечивающего требование по точности регулирования скорости, наиболее целесообразно использовать электропривод последнего волочильного блока. Электроприводы остальных ведомых клеток, блоков и шпуй намоточного аппарата должны при этом осуществлять регулирование натяжения на участке намотки. Обосновать выбор типа электропривода.

4. Разработать и обосновать принципы построения, системы и алгоритмы управления электропривода двухкатушечного намоточного аппарата.

5. Провести анализ особенностей технологических режимов электромеханической системы намоточных аппаратов непрерывного действия.

6. Разработать частотно-регулируемый электропривод намоточного аппарата с программируемым контроллером по схеме ПЧ-АД с асинхронным короткозамкнутым двигателем.

7. Повысить управляемость электропривода намоточного аппарата с тем, чтобы поддерживать натяжение проволоки постоянным независимо от радиуса наматывания, либо изменяться по гиперболическому закону в зависимости от радиуса намотки.

8. Разработать математическую и виртуальные модели автоматизированного электропривода намоточного аппарата и исследовать его в среде MatLab.

9. Разработать структурную схему системы блок волочильного стана и намоточный аппарат.

2 Разработка электропривода намоточного аппарата. Выбор и расчет его элементов

2.1 Описание двухкатушечного намоточного аппарата и его параметры

2.1.1 Способ и устройство для непрерывной намотки на катушки металлической проволоки [5]. Цель данного изобретения – обеспечить непрерывную намотку проволоки на катушки. Данное устройство состоит из корпуса 1, в котором располагаются параллельно два вала 2 и 3 (рисунок 2.1). На валу располагается пустая катушка, а также полная катушка. На валах расположены электромагнитные муфты и подвижные зажимные диски, которые могут прижиматься к торцам катушек пружинами. Магнитные сердечник может притягивать зажимной диск, преодолевая действие пружин. В результате, между зажимным диском и торцом катушки образуется щель, в которую попадает проволока во время переброса с наполненной катушки на пустую. Края дисков заострены как нож. И проволока, попадая между краем диска и роликом перерезается. Чтобы уменьшить износ, края дисков края дисков закаливаются и являются сменными. Катушки закреплены на валах консольно. Если есть необходимость, то можно использовать вторую качающую опору. Валы вращаются в противоположных направлениях через ременные передачи, не указанные на чертеже. Передача вращения от электродвигателя валам осуществляется через электромагнитные муфты. Эти муфты позволяют регулировать скорость вращения катушек. При намотке проволоки проходит через ролик, который установлен на одной оси со счетчиком длины проволоки. Проволока раскладывается на катушке раскладными роликами. Переброс проволоки с наполненной катушки на пустую осуществляется роликом переброса, который движется по винту.

Устройство работает следующим образом. Когда катушка заполнена, счетчик 20 замыкает контакт 27. Раскладные ролики 21 и 22 перемещаются в крайнее положение и замыкают контакт 28. Включается муфта 16 и пустая катушка 4 начинает вращаться в направлении, противоположном вращению катушки 5. Включается двигатель 24 и ролик переброса 26 перемещается по стрелке «С», отклоняя проволоку от пунктирной линии.

Проволока 18 вводится в щель между зажимным диском 8 и торцом катушки 4. Ролик переброса 26 нажимает на конечный выключатель 29, отключает электромагнитную муфту 7 и диск зажима 8 прижимается пружиной 10 к торцу катушки, зажимая проволоку 18. Попадая между диском 8 и роликом 11, проволока перерезается. Начинается намотка на следующую катушку. Муфта 17 отключается, наполненная катушка 5 останавливается и снимается на тележку 30. На вал 3 устанавливается пустая катушка и начинается следующий цикл.

На рисунке 2.1 показано устройство непрерывной намотки на катушку проволоки.

Данная конструкция начала использоваться в 1963, когда во Франции был выдан на нее патент.

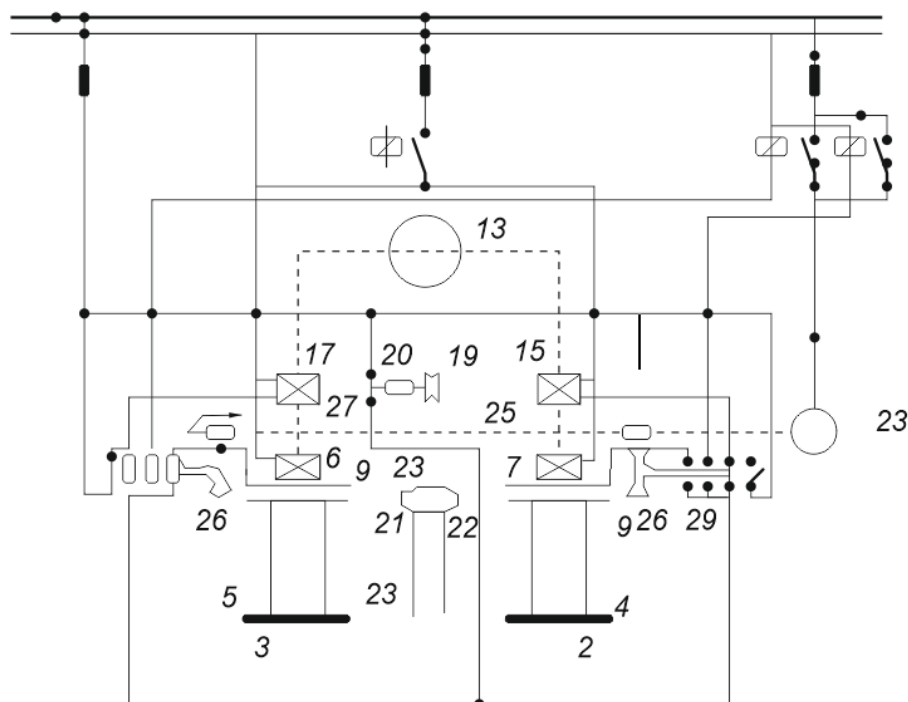


Рисунок 2.1 – Устройство непрерывной намотки на катушки металлической проволоки

2.1.2 Устройство для непрерывной намотки на катушки. Цель данного изобретения – дать конструкцию такого намоточного аппарата, который обеспечит непрерывную намотку проволоки или другого гибкого материала, в котором натяжение проволоки будет постоянным. Намоточный аппарат состоит из двух катушек, которые приводятся во вращение электродвигателями через муфты. Раскладку проволоки производят ролики, которые приводятся в движение через муфты. Для подачи проволоки в зону захватов служат выдвижные ролики, которые передвигаются по направляющим с помощью толкателей, имеющих гидро или пневмоприводы. Проволока подается через ролик на верхнюю пустую катушку, а с нее через ролики – на наполняемую катушку. В это время раскладочные ролики производят раскладку проволоки на катушку. Выдвижные ролики находятся в крайнем правом положении. Когда катушка заполнена, счетчик длины намотанной проволоки дает сигнал на перемещение толкателя, который перемещает ролик отклоняет проволоку в зону захватов улавливающего диска. Проволока попадает в захваты, которые подводят проволоку к ножу и перерезают ее. В этот момент раскладочные ролики останавливаются, а раскладочные ролики начинают раскладку проволоки на катушке. Выдвижной ролик отводится в крайнее правое положение. Наполненная катушка заменяется пустой. Траверса поворачивается на 180 градусов, в результате чего пустая катушка занимает верхнее положение, а наполняемая – нижнее положение. Весь цикл повторяется. Так как проволока

подается с ролика на сердечник пустой катушки, а затем уже на наполняемую катушку, то окружная скорость сердечника пустой катушки все время равна скорости окружной скорости наматываемой поверхности катушки. Во время захвата и порезки проволоки не происходит рывка – с одной стороны, и не образуется слабины – с другой стороны. То есть натяжение проволоки в процессе всей работы остается постоянным.

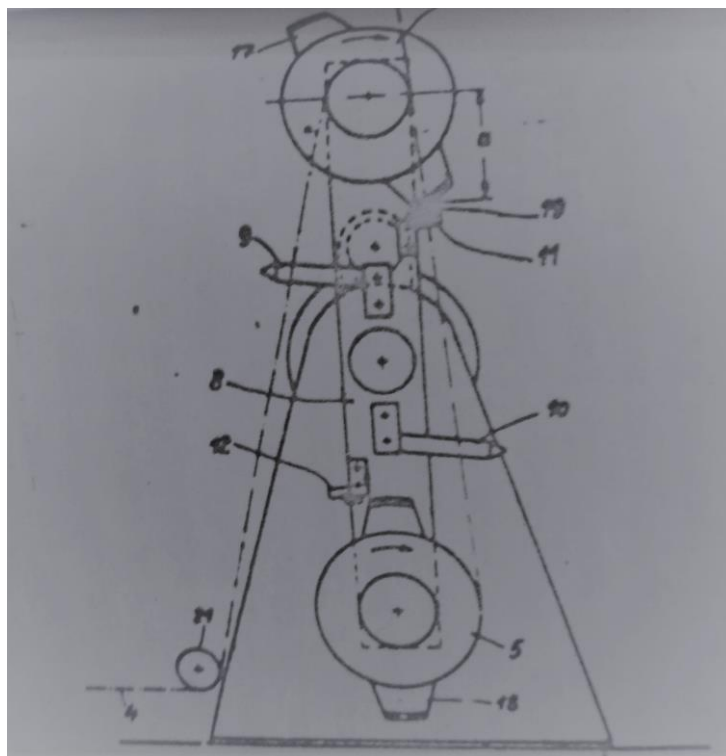


Рисунок 2.2 – Устройство для непрерывной намотки на катушки

2.1.3 Сдвоенный намоточный аппарат к волочильному стану ВСК15-200. На рисунке 1 представлена кинематическая схема данного намоточного аппарата. Электродвигатели 9 и 10 осуществляют привод катушек 1 и 4, на которые наматывается проволока, раскладка производится раскладочными роликами 11. Когда катушка 1 будет наполнена, автоматический счётчик длины включит электродвигатели 12, который приводит во вращение винтовой вал 13. По этому валу перемещаются перекидные ролики 14, которые перебрасывают проволоку в зону намотки катушки 4. К этому времени катушка 4 разгоняется до такой скорости вращения, при которой окружная скорость захватов на ней равна окружной скорости наполненной катушки. Перекидные ролики изготовлены из капролана и по наружной поверхности имеют бесконечную винтовую нарезку. Это позволяет быстро отводить проволоку в зону захватов. Проволока захватывается захватами 2 и 3 (рисунок 2), ложится на ролик 6, который вращается на оси 8, и отрезается ножами 5, смонтированными на корпусе 7. В этот момент электродвигатель 12 реверсируется и останавливается

тогда, когда проволока вышла из зацепления с перекидными винтовыми роликами 14.

Разность окружных скоростей захватов и керн катушки создает петлю, которая выбирается накопителем. Подвижной блок накопителя идёт вниз, приводя в движение реостат, воздействующий на обмотку возбуждения электродвигателя наполняемой катушки, тем самым, скорости выравниваются. Когда начнётся намотка на пустую катушку, наполненная катушка снимается и заменяется новой. Цикл повторяется.

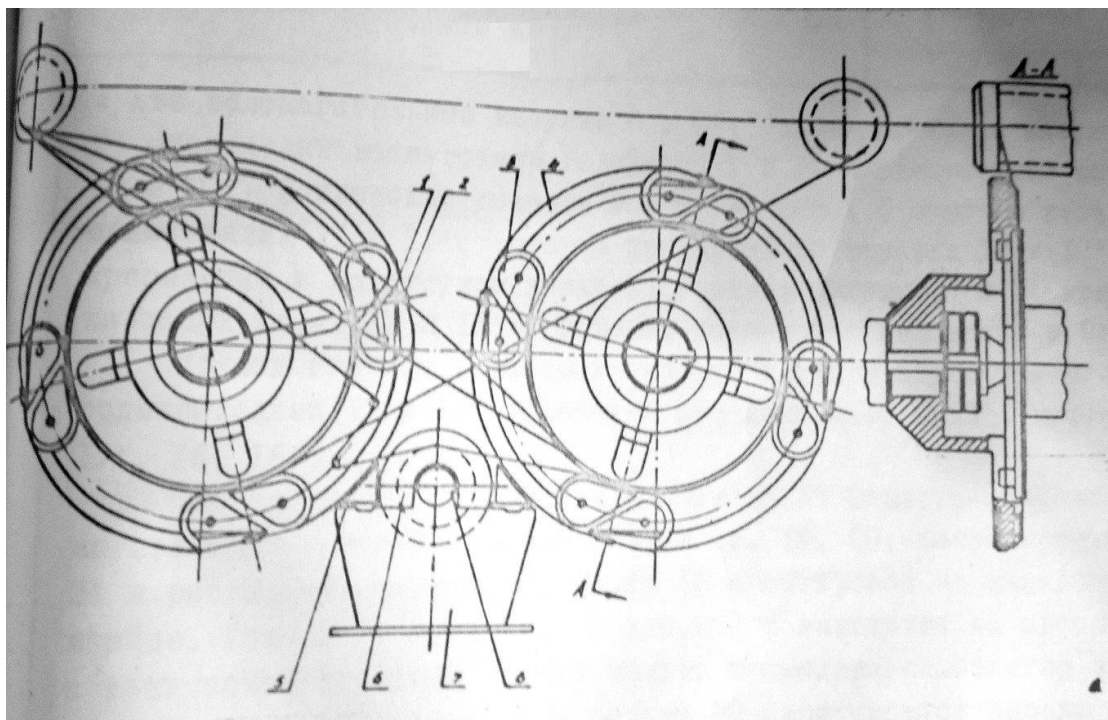


Рисунок 2.4 – Устройство сдвоенного намоточного аппарата

2.1.4 Намоточный аппарат, вращающийся на полем валу. Цель данного изобретения – обеспечить непрерывную намотку проволоки, кабеля и других подобных материалов на катушки с параллельным расположением осей.

Намоточный аппарат состоит (рисунок 2.5) из корпуса 1, поворотного диска 2, который вращается на полем валу 3 и поддерживается роликами 5 и 6 и приводится во вращение двигателем 4. На поворотном диске консольно расположены две основные катушки 7 и 7' и две вспомогательные катушки 8 и 8'. Вспомогательные катушки 8 и 8' образованы коническими головками 9 и 9' и намоточными конусами 10 и 10'. Конические головки 9 и 9' крепятся с помощью резьбы на полых валах 11 и 11', которые вращаются во втулках 12 и 12', закрепленных в поворотном диске 2. Главные катушки 7 и 7' крепятся на полых валах 11 и 11' с помощью конических головок 9 и 9'. Привод главных и вспомогательных катушек осуществляется электродвигателями 14 и 14', ременными передачами 13 и 13', муфтами 15, 15', 16, 16'.

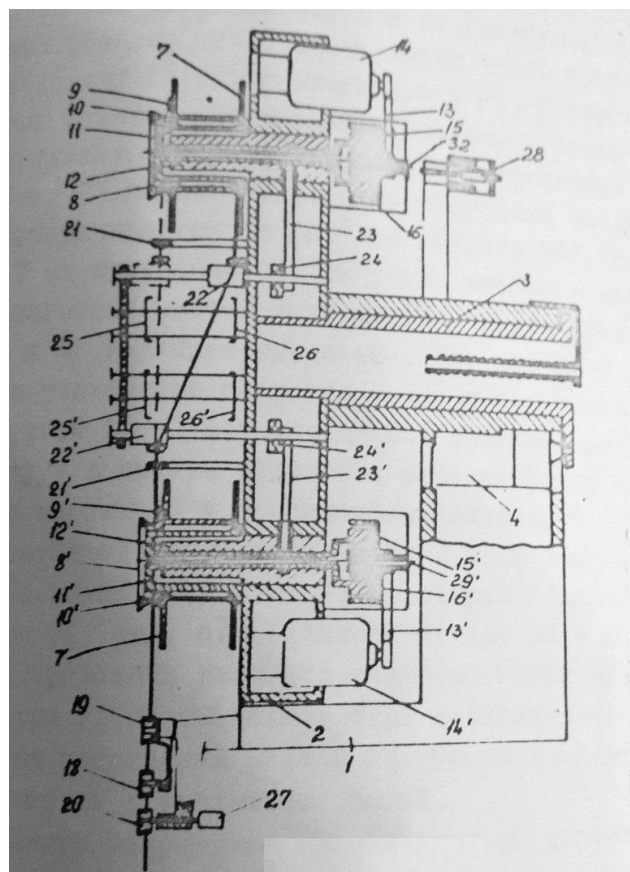


Рисунок 2.5 – Намоточный аппарат, вращающийся на полом валу

При включении устройства проволока 17 подаётся сначала на вспомогательную катушку 8 через ролики 18, 19, 20, направляющие ролики 21 и раскладные ролики 22. Ролик 18 смонтирован на качающемся кронштейне. Ролики 21 крепятся на диске 2 и находятся на одном уровне с конической головкой 9. Как только проволока наматывается на намоточный конус 10, раскладные ролики 22 перемещаются вправо, и проволока продолжает наматываться уже на главную катушку 7. Движение раскладных роликов 22 осуществляется через пустотелый вал 11, ременную передачу 23 и магнитную муфту 24. Реверсирование движения раскладных роликов производится конечным выключателем 25 и 26. Когда на главную катушку 7 намотано необходимое количество проволоки, счётчик 27 подаёт импульс на включение электродвигателя 4 и диск 2 поворачивается на 180 градусов по стрелке «А». Намотка проволоки на катушку 7 не прекращается. Во время поворота диска 2 включается электродвигатель пустой катушки 14'. Включаются муфты 15' и 16' и катушки 7' и 8' начинают вращаться. При повороте диска 2 происходит некоторое увеличение скорости намотки проволоки, которое компенсируется муфтой 15, 16 и качающимся кронштейном 18. В конце намотки на катушку 7 в нижнем положении счётчик длины проволоки 27 воздействует на магнит 28 и посредством толкателей 32 намоточный конус 10 отделяется от конической головки 9. В результате этого проволока падает в канавку 29, которая образована зажимной деталью и ножом. Зажимная деталь и нож закреплены

на детали 9. Проволока движется наклонно вверх по канавке и перерезается ножом. Проволока теперь наматывается на катушку 10'. Останавливаются раскладные ролики 22. Останавливается наполненная катушка 7, снимается и заменяется новой. Таким образом, было рассмотрено устройство намоточного аппарата, вращающегося на полом валу и его принцип работы.

2.1.5 Передаточные механизмы для намоточных аппаратов. Намоточные аппараты с данными передаточными механизмами предназначены для непрерывной намотки проволоки на катушки. Цель данного изобретения состоит в том, чтобы:

1. Уменьшить натяжение проволоки при передаче ее с наполненной катушки на пустую.

2. Обеспечить заданную длину ведущего конца проволоки, наматываемой на катушку.

В намоточном аппарате на валах вращаются катушки S1 и S2 с помощью поводков. Каждая катушка имеет самостоятельный привод. Чтобы снять наполненную катушку S1, нужно ее совместно с приводом отвести влево, и открутить головку. На детали заклепками крепится подвижной диск, поджимающий к торцу катушки диск, который загнут по периферии в сторону катушки. К диску крепятся рычаги. Втулка своей наружной поверхностью образует как бы вспомогательную катушку, на которую наматывается ведущий конец проволоки заданной длины.

Катушка S2 имеет такую же конструкцию, как и катушка S1. Во время работы аппарата, когда катушка S1 наполнена, раскладные ролики с проволокой перемещаются вправо. Проволока захватывается рычагами и спускается вниз на поверхность вспомогательной катушки, образованной втулкой. Скорость вращения пустой катушки S2 и вспомогательной катушки больше скорости вращения полной катушки, чем достигается равенство поверхностных скоростей.

После того, как на вспомогательной катушке наматается нужное количество витков, проволока начинает наматываться на катушку S2. Так как проволока закреплена на вспомогательной катушке, то для порыва проволоки не нужно специальных захватов.

Проволока рвется рычагами за счет разности скоростей вращения катушек. Так как в данной конструкции аппарата нет специальных захватывающих и зажимных устройств, поверхность рычагов гладкая и скругленная. Периферийная поверхность дисков также гладкая, поэтому при перебросе не возникает рывков, а значит уменьшается натяжение проволоки.

2.2 Выбор и расчет мощности асинхронного электродвигателя

2.2.1 Особенности выбора двигателя для намоточных аппаратов. В соответствии с технологическими требованиями к электроприводу намоточных аппаратов электродвигатель должен быть регулируемым не только по частоте вращения на основании выражения:

$$\omega_g = \frac{V_B}{R_H} \cdot i, \quad (2.1)$$

где ω_g – частота вращения двигателя, V_B – скорость волочения проволоки на волочильном стане, R_H – радиус наматывания проволоки на катушку, $i = \frac{\omega_g}{\omega_k}$ – передаточное число механизма передачи, ω_k – частота вращения катушки, но и по моменту, развиваемому на валу двигателя, как в динамических, так и в установившемся режимах. На современном этапе развития электропривода одновременное регулирование частоты вращения и момента на валу механизма возможно с применением асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором по схеме ПЧ-АД. Отличительной особенностью режимов работы электродвигателя намоточного аппарата, принимающего проволоку после волочильного стана, является то, что динамический момент, развиваемый на валу двигателя, в динамическом режиме на порядок выше момента в статическом режиме. Из-за этого в настоящее время проектировщики выбирают двигатели с завышенной мощностью. В работе предложена формула для определения мощности двигателя, которая фактически учитывает только мощность, необходимую в статическом режиме с учетом потерь на валу двигателя. Это недостаточно для обеспечения динамических режимов работы намоточного аппарата. Для выбора мощности двигателя намоточного аппарата необходимо знать параметры катушек, используемых непосредственно на проектируемом намоточном аппарате, удельный вес материала наматываемой проволоки, необходимый суммарный момент, определяемый из выражения:

$$M = M_n + M_{xx} + M_{дин}, \quad (2.2)$$

где M – суммарный момент, M_n – полезный момент, создающий натяжение проволоки в статическом режиме, M_{xx} – момент, необходимый для преодоления потерь в системе «двигатель-катушка», $M_{дин}$ – момент, необходимый для преодоления динамических нагрузок. Величина полезного момента, приведенного к валу двигателя, определяется из выражения (2.2):

$$M_n = T_{min} \cdot \frac{R_{Hmax}}{i}, \quad (2.3)$$

где T_{min} – минимальная величина натяжения наматываемой проволоки, R_{Hmax} – максимальный радиус наматывания, i – передаточное число редуктора.

Момент M_{xx} обычно составляет 10-20 % от величины M_n поэтому можно принять:

$$M_n + M_{xx} = 1.2T_{min} \cdot \frac{R_{Hmax}}{i}. \quad (2.4)$$

Момент, необходимый для преодоления динамических нагрузок, определяется из выражения (2.3):

$$M_{дин} = \frac{(J_g \cdot i + \frac{J_0}{i})}{R_H} \cdot \frac{dV_H}{dt} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot K_3 \cdot h}{i} \cdot (R_H^3 - \frac{R_0^4}{R_H}) \cdot \frac{dV_H}{dt}, \quad (2.5)$$

где, J_g, J_0 – соответственно моменты инерции механизмов на валу двигателя и на валу катушки, γ – удельный вес наматываемой проволоки, K_3 – коэффициент заполнения катушки, h - ширина укладки проволоки на катушку, R_0 – радиус шейки катушки.

Таким образом, величина суммарного момента составит:

$$M = 1.2T_{min} \cdot \frac{R_{Hmax}}{i} + \frac{(J_g \cdot i + \frac{J_0}{i})}{R_H} \cdot \frac{dV_H}{dt} + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot K_3 \cdot h}{i} \cdot (R_H^3 - \frac{R_0^4}{R_H}) \cdot \frac{dV_H}{dt}. \quad (2.6)$$

Из выражения (2.6) видно, что максимальный необходимый момент имеет место при $R_H = R_{Hmax}$.

Таким образом, для выбора мощности двигателя необходимо воспользоваться выражением (2.6) при $R_H \geq 0,9 \cdot R_{Hmax}$ и при максимальной скорости волочения V_{Bmax} .

В силу того, что динамический момент на порядок превышает сумму полезного момента и момента, необходимого для преодоления потерь в системе «двигатель-катушка», и переходный процесс носит кратковременный характер, в выражении для определения мощности необходимо учитывать перегрузочную способность двигателя:

$$P_{дв} = \eta \cdot \frac{M \cdot \omega_{дв}}{\lambda_m} = \eta \cdot \frac{M \cdot \omega_k \cdot i}{\lambda_m} = \eta \cdot \frac{M \cdot V_H \cdot i}{\lambda_m \cdot R_H}, \quad (2.7)$$

где, λ_m – перегрузочная способность двигателя.

Если в выражение (2.7) поставить значения $V_H = V_{Bmax}$, $R_H = 0,9R_{Hmax}$, и момента M из выражения (2.6) с учетом того, что $\frac{dV_H}{dt} = \frac{dV_B}{dt}$, то выражение для определения мощности двигателя примет вид:

$$P_{дв} = \frac{\eta}{\lambda_m} \cdot V_{Bmax} \left(1.33T_{min} + \frac{J_g \cdot i^2}{0.81 \cdot R_{Hmax}^2} \cdot \frac{dV_B}{dt} + \pi \cdot \gamma \cdot K_3 \cdot h \cdot \left(0.81R_{Hmax}^2 - \frac{R_0^2}{0.81R_{Hmax}^2} \right) \cdot \frac{dV_B}{dt} + \frac{J_0}{0.81R_{Hmax}^2} \cdot \frac{dV_B}{dt} \right) = \frac{0.86}{1.2} \cdot 25 \left(1.33 \cdot 21.5 + \frac{0.005 \cdot 0.25^2}{0.81 \cdot 0.04^2} \cdot 150 + \pi \cdot 0.154 \cdot 1 \cdot 0.4 \cdot \left(0.81 \cdot 0.04^2 - \frac{0.02^2}{0.81 \cdot 0.04^2} \right) \cdot 150 + \frac{0.005 \cdot 0.25^2}{0.81 \cdot 0.04^2} \cdot 150 \right) = 1415 \text{ Вт}. \quad (2.8)$$

Полученная формула учитывает не только параметры катушки и ее привода, но скорость волочения, которая дается в паспорте волочильного стана

и величину ускорения при пуске волочильного стана, которая задается в зависимости от технологических требований к волочильному стану. Кроме того, выражения косвенно через величину T_{min} и γ , учитывает и параметры наматываемой проволокой. Полученное выражение рекомендуется при проектировании намоточных, применяемых на волочильных станах, в которых имеют место остановки при незаполненных катушках из-за обрыва проволоки или окончания заготовки в размоточном устройстве. При технологии наматывания проволоки на катушку без промежуточных остановок в выражения (2.6) и (2.7) необходимо вместо R_H подставить R_0 , тогда:

$$P_{дв} = \frac{\eta}{\lambda_m} \cdot \left(1.2T_{min} \cdot \frac{R_{Hmax}}{R_0} \cdot V_{Vmax} + \frac{J_g i^2}{R_0^2} \cdot V_{Vmax} \cdot \frac{dV_B}{dt} + \frac{J_0}{R_0} V_{Vmax} \cdot \frac{dV_B}{dt} \right) = \\ = \frac{\eta}{\lambda_m \cdot R_0} \cdot V_{Vmax} \left(1.2T_{min} \cdot R_{Hmax} + \frac{1}{R_0} (J_g \cdot i^2 + J_0) \frac{dV_B}{dt} \right) = 1415 \text{ Вт.} \quad (2.9)$$

В выражениях (2.8) и (2.9) участвует передаточное число механизма передачи, выбор которого имеет немаловажную роль, как для повышения быстродействия привода, так и для уменьшения мощности выбираемого двигателя. Однако, однозначное решение выбора величины передаточного числа невозможно, так как момент инерции механизма (катушки) величина переменная. Кроме того, момент инерции двигателя значительно меньше момента инерции механизма (катушки большой емкости), поэтому при выборе передаточного числа механизма передачи желательно исходить из максимальной частоты вращения катушки и номинальной частоты вращения двигателя. При этом учитывая то, что двигатель постоянного тока при сниженном потоке возбуждения может работать с частотой вращения выше номинального, необходимо, чтобы соблюдалось следующее нестрогое равенство:

$$\omega_{н.д} \leq \omega_{к.мах} = \frac{V_{Vmax}}{R_0}, \quad (2.10)$$

где, $\omega_{н.д}$ – номинальная частота вращения двигателя, $\omega_{к.мах}$ – максимальная частота вращения катушки. Величина передаточного определяется из выражения:

$$i = \frac{\omega_{н.д}}{\omega_{к.мах}} = \frac{1500}{6000}. \quad (2.11)$$

В тех случаях, когда невозможно подобрать двигатель, удовлетворяющий условию (2.10), тогда необходимо подбирать двигатель с минимальной частотой вращения, а величину передаточного числа определять из выражения (2.11)

2.2.2 Выбор мощности электродвигателя намоточного аппарата. В таблице 2.1 указаны технические характеристики асинхронного электродвигателя общепромышленного назначения.

Ниже в таблице приведены технические данные выбранного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Таблица 2.1 – Технические характеристики асинхронного электродвигателя

Марка	Мощность	Об/м. сихр-асинхр	Ток при 380В, А	КПД, %	Козф. мощн.	Ip/ In	Mп/ Mн	Mт/ Mн	Момент Н*м	Момент инерции, кгм2	Масса, кг
АИР80В4	1,5 кВт	1500 1400	3,72	78,5	0,78	6,0	2,3	2,3	10,2	0,005	19,5

В таблице 2.1 указаны технические характеристики асинхронного электродвигателя общепромышленного назначения.

Электродвигателя общепромышленного односкоростного трехфазного асинхронного переменного тока с короткозамкнутым ротором АИР80В4. Двигатели унифицированной серии АИР являются самыми распространёнными в промышленности, за счет простоты конструкции и выгодной стоимости при высокой надежности в эксплуатации.

Асинхронные электродвигатели АИР, благодаря простоте конструкции, отсутствию подвижных контактов, высокой ремонтпригодности, невысокой цене по сравнению с другими электрическими двигателями применяются практически во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства.

Используются для привода различных машин и оборудования, работа которых имеет беспереывный характер.

Конструкция электродвигателя общепромышленного трехфазного асинхронного АИР80В4. Общепромышленные трехфазные асинхронные электродвигатели АИР80В4 изготавливаются по умолчанию:

- на напряжение 380В (три клеммы в коробке выводов) или 220/380В (шесть клемм).

- климатического исполнения У (Температура окруж. среды, С°-20 ...+40)

- категории размещения - 2 (эксплуатация под навесом, отсутствие прямого воздействия осадков и солнечного излучения), или 3 (эксплуатация в закрытых помещениях без регулирования климатических условий).

- режим работы - продолжительный, S1. (S1 по ГОСТ 183-74: продолжительный при неизменной нагрузке и стабильности).

Класс нагревостойкости F – пиковая температура нагрева обмотки до 150°С.- степень защиты - IP54.

Степень защиты электродвигателя IP54 - согласно International Protection, 5 – защита от пыли, 4 – защита от попадания воды.

Общепромышленные электродвигатели АИР, АИРМ, 5АМ, 5АИ со степенью защиты IP54 (55) выполнены в закрытом обдуваемом исполнении (рисунок 2.5).

Система охлаждения двигателей - IC 041 по ГОСТ 20459 (МЭК 60034-6). Электродвигатели имеют станину с наружными продольными охлаждающими ребрами.

Охлаждение осуществляется путем обдува станины внешним центробежным вентилятором, расположенным на валу электродвигателя со стороны противоположной приводе и закрытым защитным кожухом.

Общепромышленные электродвигатели серии АИР80В4 отличаются:

- возможность кратковременных механических перегрузок;
- простота конструкции;
- простота пуска и легкость его автоматизации;
- преимущественно постоянная скорость при разных нагрузках;
- повышен КПД за счет высокой точности изготовления;
- снижен уровень шума (до 55 дБ) за счет применения высокоточных подшипников;
- степень защиты IP54 электродвигателей обеспечивает повышенную защищенность оболочки электродвигателя от воды и пыли;
- снижен уровень реактивных токов $\cos\varphi$ (до 0,86), что приводит к значительному снижению риска перенапряжения в сети;
- высокая эксплуатационная надежность электродвигателя при пусках и спонтанно возникающих перегрузках получена путем значительного увеличения кратности пусковых моментов;
- корпус отлит из серого чугуна.

Для работы на открытом воздухе рекомендуется предохранить двигатель АИР серии при помощи козырька от непосредственного попадания дождя, снега и солнечных лучей.

Двигатели АИР специального исполнения - химстойкие (Х2), морские (ОМ2), со встр. темп защитой (Б), повышенной точности (П).
Климатические условия - У2, У3, У5, УХЛ2, УХЛ4, Т2 (тропические).



Рисунок 2.4 - Общий вид асинхронного трехфазного электродвигателя АИР80В4 мощность 1.5 кВт



Рисунок 2.5 - Электродвигатель АИР80В4, выполненный в закрытом обдуваемом исполнении

2.3 Выбор преобразователя частоты по схеме ПЧ-АД

В этом случае, для асинхронного трехфазного электродвигателя АИР80В4, выполненного в закрытом обдуваемом исполнении, я подобрала преобразователь частоты серии E-410 - ADV 2.2 E410-M с мощностью 2,2 кВт, по причине того, что мощность выбранного двигателя 1,5 кВт. Ниже представлены технические характеристики преобразователя частоты – ADV 2.2 E410-M

Таблица 2 – Технические характеристики ПЧ - ADV 2.2 E410-M

Модель	Мощность, кВт	Номинальный ток, А	Перегрузка %/мин	Габариты, мм	Время торможения, с
ADV 2.2 E410-M	2,2	5	HD 150%; ND 120%	106×160×137	0,1-6500

Малогабаритная бюджетная серия E-410 преобразователей частоты Advanced Control обладает отличными техническими и эксплуатационными характеристиками. В ней присутствует широкий набор функций, высокая производительность. Также можно заметить, что эта серия проста в настройке и эксплуатации. Серия **ADV E410** предназначена для управления асинхронными электродвигателями общепромышленного применения. Мощностной диапазон 0,4 - 7,5 кВт 380В. Так наш преобразователь частоты с мощностью 2,2 и с данными характеристиками подходит для выбранного электродвигателя. Ниже представлен общий вид преобразователя частоты по схеме ПЧ-АД - ADV 2.2 E410-M (рисунок 2.6), а также его габариты (рисунок 2.7).



Рисунок 2.6 – Преобразователь частоты по схеме ПЧ-АД ADV 2.2 E410-M

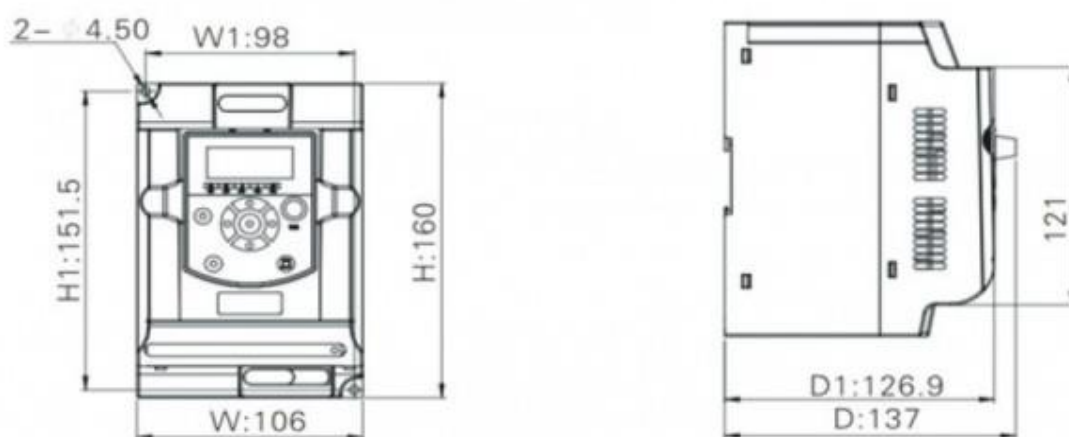


Рисунок 2.7 – Габариты преобразователя частоты ADV 2.2 E410-M

В преобразователе частоты ADV 2.2 E410-M используется микропроцессор KP580BM80, ниже приведена его функциональная схема (рисунок 2.8). KP580BM80 - это 8 - разрядный микропроцессор, микросхема которого функционально законченный однокристалльный параллельный микропроцессор с фиксированной системой команд, применяется в качестве центрального процессора в устройствах обработки данных и управления. На рисунке 2.9 представлена структурная схема данного микропроцессора KP580BM80.

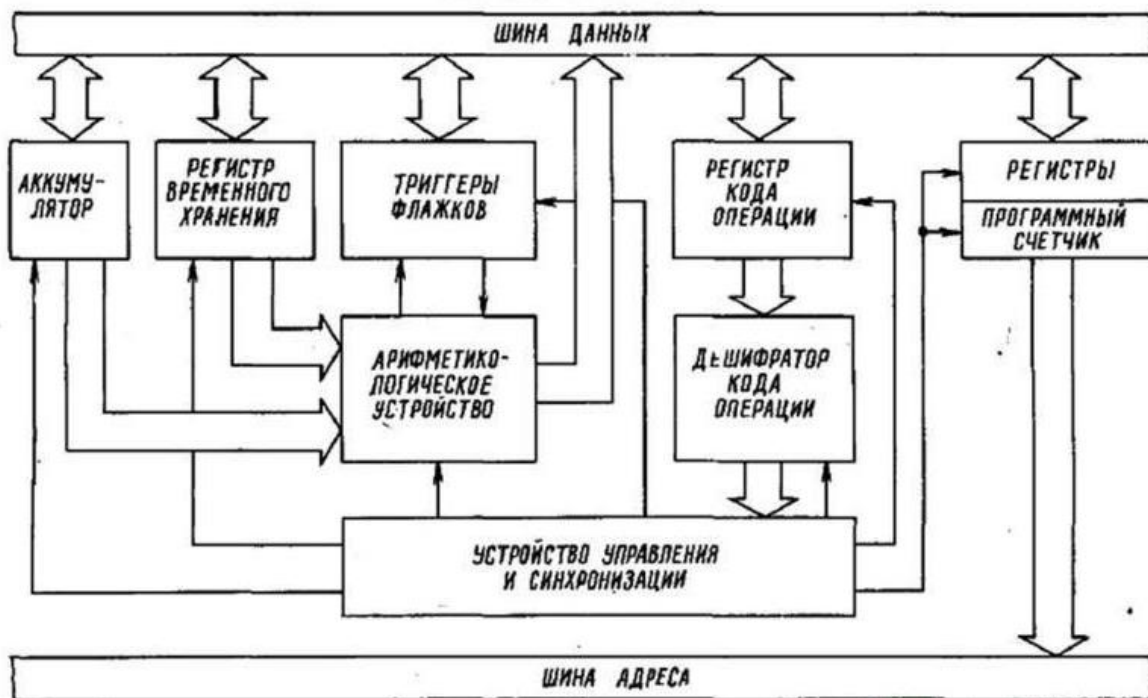


Рисунок 2.8 – Функциональная схема микропроцессора КР580ВМ80

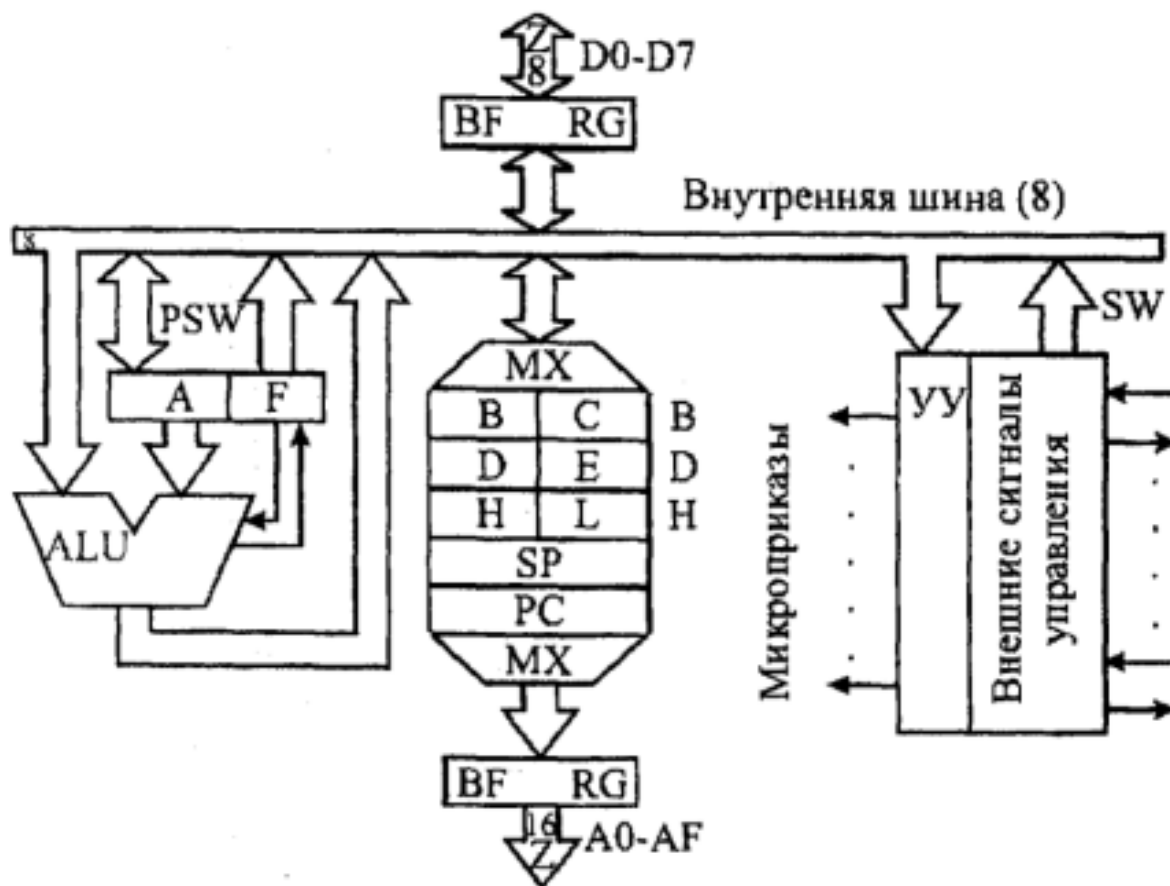


Рисунок 2.9 – Структурная схема микропроцессора КР580ВМ80

2.4 Наматывание проволоки на катушку без деформации катушек и обрыва проволоки

В этом разделе определен закон изменения натяжения проволоки, при которых устраняется деформация катушки. Он зависит от выбора закона изменения межслойной нагрузки, т.е. для обеспечения наматывания проволоки без деформации катушки и межслойного внедрения достаточно обеспечения постоянства момента на валу катушки.

Для обеспечения условий движения проволоки волочильного стана необходимо, чтобы соблюдалось условие в соответствии с 2.12, 2.13

$$T_{\min} \geq l^{2 \cdot \pi \cdot f \cdot m} \cdot \frac{T_b}{}, \quad (2.12)$$

где T_{\min} - минимальное значение натяжения проволоки после волочильного стана;

T_b - натяжение проволоки после калибрующей волоки, то есть перед чистовым барабаном;

l - основание натурального логарифма;

π - постоянная круга;

f - коэффициент трения между чистовым барабаном и проволокой;

m - количество витков на чистовом барабане.

Максимальная величина натяжения проволоки T_{\max} не должна превышать допустимой [2.14]:

$$T_{\max} < T_{\text{доп}} = F_{н.м} \cdot [\sigma] \text{ Н}, \quad (2.13)$$

где $F_{н.м}$ - полезная площадь поперечного сечения проволоки, мм²;

$[\sigma]$ - допустимое нормальное напряжение, Н/мм².

Для сохранения свойств проволоки и условия её движения, величина натяжения может быть выбрана в диапазоне:

$$F_{н.м}(\sigma) > T \geq e^{\frac{T_b}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot m}}, \text{ Н}. \quad (2.14)$$

Для определения закона изменения натяжения проволоки необходимо определить условия, при которых устраняется деформация катушки. Требования, предъявляемые к процессу наматывания проволоки на катушку формируются из следующих соображений:

- величина натяжения проволоки должна удовлетворять условию (2.14);
- суммарная величина межслойной нагрузки должна быть минимальной, то есть:

$$\sum_{i=1}^k P_i = \min, \quad (2.15)$$

что обеспечит минимум нагрузки на катушку;

- для устранения межслойного внедрения проволоки межслойная нагрузка должна с увеличением радиуса наматывания убывать, то есть распределяться следующим образом:

$$P_{\text{доп}} \geq P_1 > P_2 > \dots P_i > \dots P_k, \quad (2.16)$$

где $P_{\text{доп}}$ - максимально допустимая величина межслойной нагрузки (определяется в соответствии с механическими параметрами катушки и проволоки);

P_1 - давление между шейкой катушки и первым слоем проволоки, намотанной на катушку;

P_i - давление между $(i-1)$ -слоем и i -слоем проволоки, намотанной на катушку;

P_k - давление между предпоследним и последним слоем проволоки.

Для решения поставленной задачи воспользуемся уравнениями

$$\frac{\partial R(x, y)}{\partial x} = d - c \cdot q(x, y); \quad (2.17)$$

$$R(x, y) = R(x, x) - \frac{R^2(x, y)}{E \cdot F} \cdot \left[\frac{\partial q(x, y)}{\partial x} + q(x, x) \right] \quad (2.18)$$

со следующими граничными условиями:

$$T(x, x) = R(x, x) \cdot q(x, x) = T(x), \quad (2.19)$$

$$R(0, y) = R_0 - C_0 \cdot q(0, y), \quad (2.20)$$

где $x=i, y=k$ - непрерывные аргументы, введенные в рассматриваемые функции;

$R(x, y)$ - радиус X -го слоя после заполнения катушки;

$q(x, x)$ - нагрузка между наматываемым и нижележащим слоями проволоки;

$T(x, x) = T(x)$ - натяжение проволоки в процессе наматывания X -го слоя;

$R(x, x)$ - радиус наматываемого слоя;

$q(x, y) = P_i$ - межслойная нагрузка после заполнения катушки;

$R(0, y)$ - радиус шейки катушки после заполнения катушки;

$q(0, y)$ - нагрузка между шейкой катушки и первым слоем проволоки после заполнения катушки;

F - площадь сечения проволоки;

C_0 - коэффициент, учитывающий податливость проволоки.

Так как деформация катушки мала по сравнению с её размерами, то можно принять:

$$R(x, x) = R_o + d_o \cdot x, M, \quad (2.21)$$

а в нелинейной части уравнения(2.18) можно принять:

$$R(x, y) = R_o + d_o \cdot x; \quad (2.22)$$

С учетом допущений (2.21) и (2.22) уравнения (2.18) и (2.19) примут вид:

$$R(x, y) = R_o + d_o \cdot x - \frac{(R_o + d_o \cdot x)^2}{E \cdot S} \cdot \left[\frac{\partial q(x, y)}{\partial x} + q(x, x) \right]; \quad (2.23)$$

$$q(x, x) = \frac{T(x)}{R_o + d_o \cdot x}; \quad (2.24)$$

При интегрировании обеих частей уравнения (2.17) по X в пределах от 0 до X получится:

$$R(x, y) - R(0, y) = d_o \cdot x - c \cdot \int_0^x q(x, y) \cdot dx, \quad (2.25)$$

С учетом выражения (2.20) уравнение (2.25) можно переписать в виде:

$$R(x, y) = R_o + d_o \cdot x - c_o \cdot q(0, y) - c \cdot \int_0^x q(x, y) \cdot dx; \quad (2.26)$$

Решение уравнения (15) и (18) с учетом (16) дает следующее:

$$\begin{aligned} & \frac{(R_o + d_o \cdot x)^2}{E \cdot S} \cdot \left(\frac{dq(x, y)}{dx} + \frac{T(x)}{R_o + d_o \cdot x} \right) \\ & = C_o \cdot q(0, y) - c \cdot \int_0^x q(x, y) \cdot dx; \end{aligned} \quad (2.27)$$

Решение уравнения (2.19) относительно $T(x)$ дает:

$$T(x) = \frac{C_o \cdot E \cdot S}{R_o + d_o \cdot x} \cdot q(0, y) + \frac{C \cdot E \cdot S}{R_o + d_o \cdot x} \cdot \int_0^x q(x, y) \cdot dx - (R_o + d_o \cdot x) \cdot \frac{\partial q(x, y)}{\partial x}; \quad (2.28)$$

Из уравнения (2.28) видно, что выбор закона изменения натяжения проволоки зависит от выбора закона изменения межслойной нагрузки $q(x, y)$. Исходя из граничных условий величины натяжения проволоки (2.14) и условий (2.15) и (2.16), закон изменения межслойной нагрузки можно представить в виде:

$$\begin{aligned} q(x, y) &= T_{min} \cdot \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \cdot \int_x^y \frac{dx}{R_o + d_o \cdot x} \\ &= \frac{T_{min} \cdot (R_o + d_o \cdot y)}{d_o \cdot R_o} \cdot \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o + d_o \cdot x} \right|; \end{aligned} \quad (2.29)$$

Подстановка значений $q(x, y)$ и $q(0, y)$ в уравнение (17) решение дает:

$$T(x) = \frac{E \cdot S \cdot T_{min} \cdot (R_o + d_o \cdot y)}{R_o \cdot (R_o + d_o \cdot x) \cdot d_o} \cdot \left[C_0 \cdot \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \right| + C \cdot X \cdot \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot x}{R_o} \right| + 1 \right] - \left[\frac{C \cdot R_o}{d_o} \cdot \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \right| \right] + T_{min} \cdot \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o}$$

связи с тем, что в стандартных катушках, применяемых в волочильном производстве:

$$R_{max} = R_o + d_o \cdot y \leq 2 \cdot R_o, \quad \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot x}{R_o} \right| < 1 \quad \text{и} \quad \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o + d_o \cdot x} \right| < 1$$

при любых значениях X , исходя из условия сохранения качества проволоки в намотанной катушке, $C \rightarrow 0$, последнюю формулу можно переписать в виде:

$$T(x) = \frac{E \cdot S \cdot C_0 \cdot T_{min} \cdot (R_o + d_o \cdot y)}{(R_o + d_o \cdot x) \cdot d_o \cdot R_o} \cdot \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \right| + T_{min} \cdot \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o};$$

Подставив значения S и C_0 , можно получить закон изменения натяжения проволоки в функции радиуса наматывания:

$$T(x) = \frac{\pi \cdot E}{4 \cdot E_k} \cdot \frac{(R_o + d_o \cdot y) \cdot \left[1 - \nu_k + (1 + \nu_k) \cdot \frac{b^2}{R_o^2} \right]}{\left(1 - \frac{b^2}{R_o^2} \right) \cdot (R_o + d_o \cdot x)} \cdot T_{min} \cdot \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \right| + T_{min} \cdot \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \right|$$

Перепишем выражение (22) в виде:

$$T(x) = \frac{N}{R_o + d_o \cdot x} + k, \quad (2.34)$$

$$\text{где } N = \frac{\pi \cdot E}{4 \cdot E_k} \cdot \frac{(R_o + d_o \cdot y) \cdot \left(1 - \nu_k + (1 + \nu_k) \cdot \frac{b^2}{R_o^2} \right) \cdot T_{min} \ln \left| \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o} \right|}{\left(1 - \frac{b^2}{R_o^2} \right)}$$

- коэффициент, учитывающий податливость катушки при взаимодействии с намотанной проволокой, который имеет размерность момента и удовлетворяющий условие (2.29)

$T_{min} \frac{R_o + d_o \cdot y}{R_o}$ - постоянная составляющая натяжения при которой обеспечивается условие (2.29).

Для обеспечения условия (2.28) необходимо натяжение изменять в диапазоне $25 \leq T(x) \leq 50$ Н, а для этого величину M_H в выражении можно определить из границы условий величины натяжения и максимального радиуса наматывания, то есть:

$$M_H = T_{min} \cdot (R_o + d_o \cdot y), \frac{H}{M}. \quad (2.36)$$

Отсюда:

$$T(x) = \frac{T_{min} \cdot (R_o + d_o \cdot y)}{R_o + d_o \cdot x}, H. \quad (2.37)$$

При подстановке исходных значений в полученное уравнение (2.36) получится следующее:

$$T(x) = \frac{25 \cdot (0.21 + 0.001 \cdot 200)}{0.21 + 0.001 \cdot x} = \frac{10.25}{0.21 + 0.001 \cdot x}, Н. \quad (2.38)$$

То есть натяжение проволоки будет изменяться в пределах $25 \leq T(x) \leq 48,6$ Н. Это обеспечивает заданные условия (2.18) и (2.19).

Таким образом, для обеспечения наматывания проволоки без деформации катушки и межслойного внедрения достаточно обеспечения постоянства момента на валу катушки.

На рисунке 2.10 изображена функциональная схема электропривода волочильного стана с намоточным аппаратом.

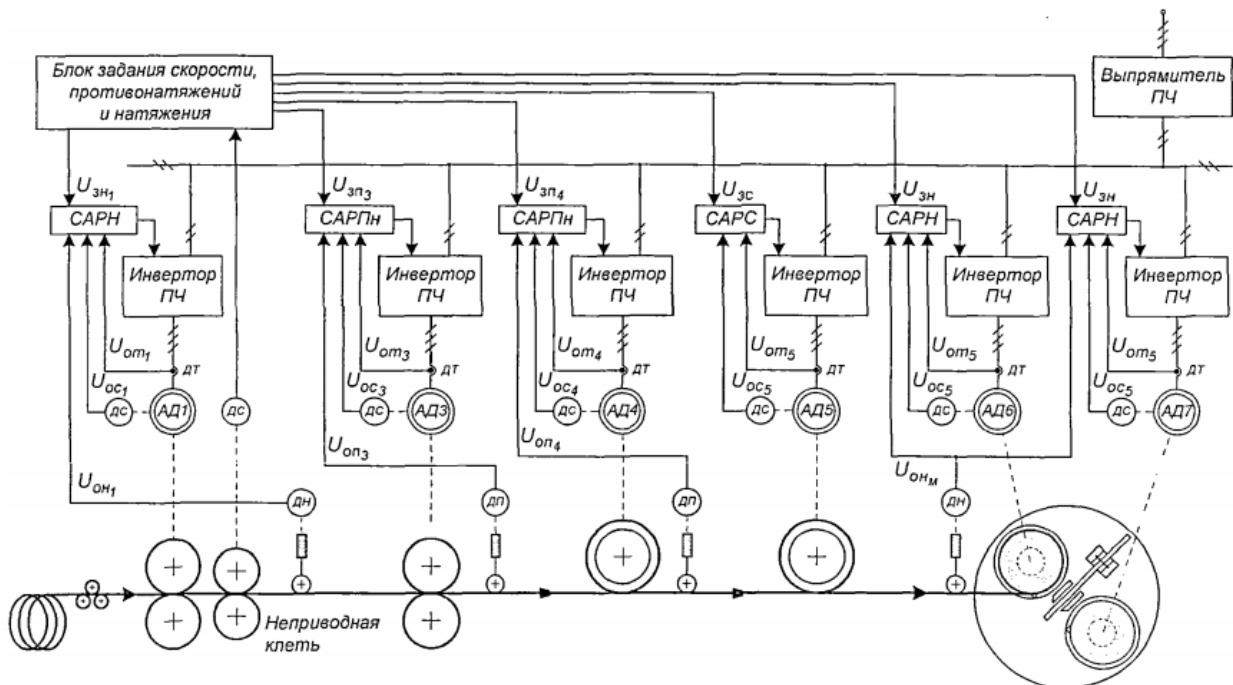


Рисунок 2.10 - Функциональная схема электропривода волочильного стана с намоточным аппаратом

Алгоритм работы электроприводов следующий. С помощью блоков задания скорости, противонапряжения и натяжения последовательно задаются величины натяжения проволоки на участке смотки, противонапряжения в волочильной секции и натяжения во втором межклетевом промежутке в соответствии с маршрутом волочения (прокатки), при этом задание на скорость равно нулю. После установки противонапряжения и межклетевого натяжения во всех промежутках формируется сигнал на разгон стана. Стан разгоняется до рабочей скорости. Сигнал на выходе регулятора противонапряжения увеличится, а значит, последовательно увеличатся задание на скорость.

3. Исследование системы стабилизации натяжением проволоки на намоточном аппарате в среде Matlab

3.1 Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты

На рисунке 3.1 показана линеаризованная структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты в системе MATLAB.

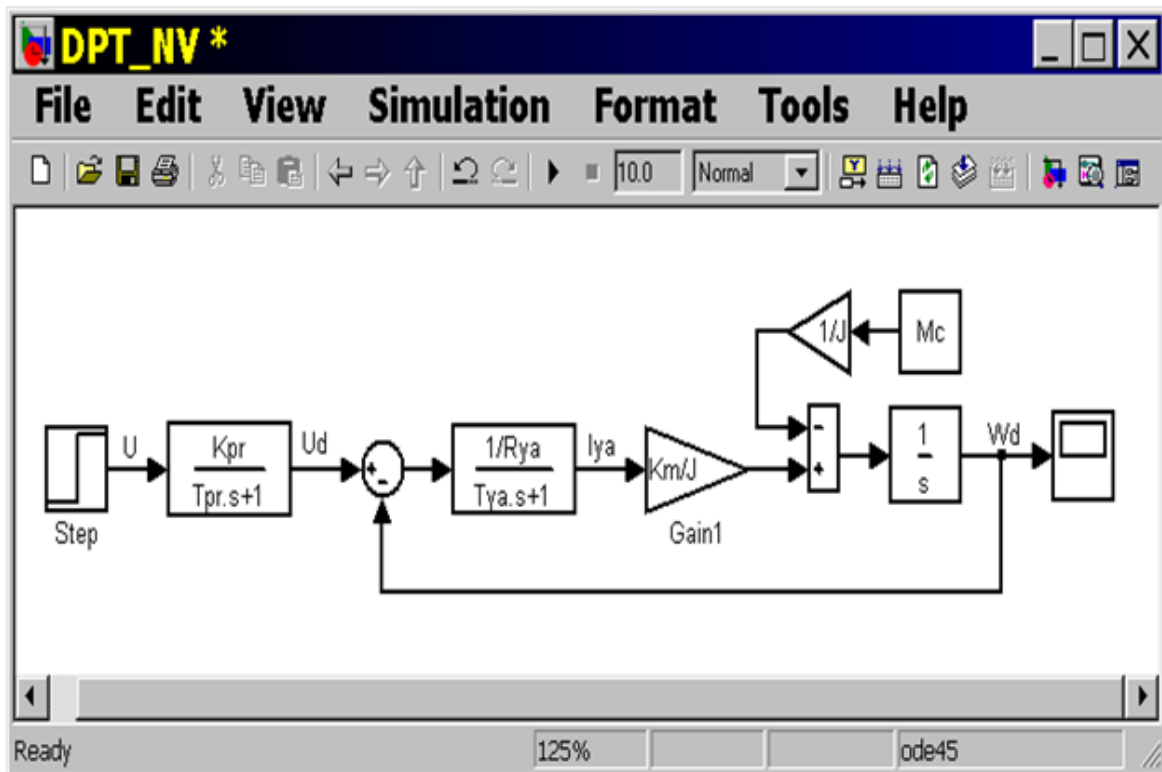


Рисунок 3.1 - Структурная схема ПЧ-АД

Структурная схема (рисунок 3.1) с асинхронным двигателем представляет собой последовательно включенное апериодическое звено первого порядка с интегрирующим звеном, охваченными отрицательной обратной связью. В качестве источника питания двигателя используется преобразователь частоты, представленный также апериодическим звеном первого порядка. Передаточные функции двигателя имеют вид:

$$W(s) = \frac{1}{s} \quad (\text{интегрирующее звено}), \quad (3.1)$$

$$W(s) = \frac{1/R_{ya}}{T_{ya}s + 1} \quad (\text{апериодическое звено}), \quad (3.2)$$

где R_{ya} – сопротивление роторной цепи двигателя;

T_{ya} – постоянная времени;

K_e – коэффициент передачи;

3.2 Структурная схема асинхронного двигателя намоточного аппарата.

Структурная схема линейризованной системы преобразователь частоты асинхронный двигатель приведена на рисунке 3.2, в среде MATLAB.

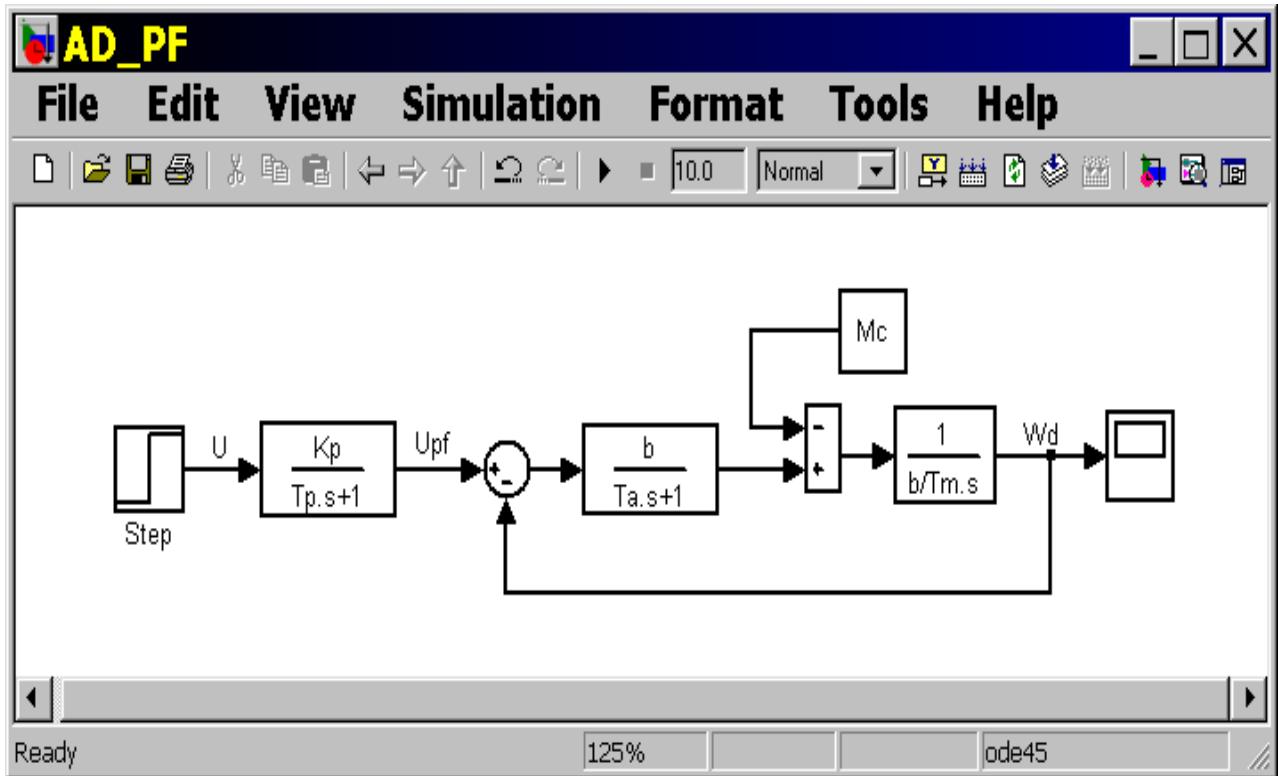


Рисунок 3.2 - Структурная схема системы ПЧ - АД

На рисунке 3.2 изображена структурная схема системы ПЧ-АД намоточного аппарата, на которой приняты следующие обозначения: b – модуль жесткости линейризованной механической характеристики АД; T_a – эквивалентная электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора АД; K_p – передаточный коэффициент преобразователя частоты (ПЧ); T_p – постоянная времени цепи управления ПЧ; T_m – электромеханическая постоянная времени двигателя.

Структурная схема системы ПЧ – АД (преобразователь частоты – асинхронный двигатель) представляет собой последовательно включенное апериодическое звено первого порядка с интегрирующим звеном. Источником питания в схеме фигурирует преобразователь частоты. Она состоит из последовательно соединенных звеньев: интегрирующего и апериодического звена с передаточными функциями $W_1(s) = 1/bT_m s$ и $W_2(s) = b/(T_a s + 1)$ (двигатель) и источника питания системы с передаточной функцией $W_3(s) = K_p/(T_p s + 1)$ (преобразователь частоты).

3.3 Структурная схема системы блок волочильного стана и намоточного аппарата

На основе структурных схем, приведенных на рисунках 3.1, 3.2 с предлагаемой системой автоматического управления стабилизации натяжения проволоки между чистовым блоком волочильного стана и намоточным аппаратом (БВС – НА), структурная схема системы БВС – НА имеет вид (рисунок 3.3).

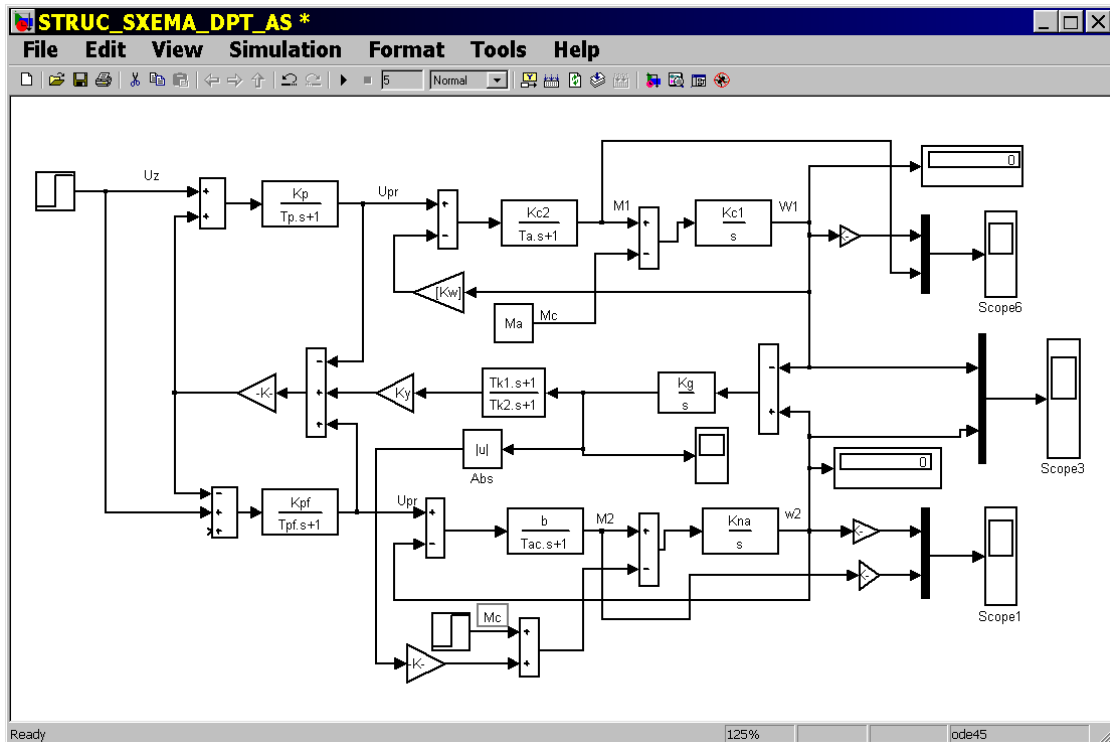


Рисунок 3.3 - Структурная схема системы БВС – НА

На рисунке 3.3 система стабилизации натяжения проволоки между блоком волочильного стана и намоточным аппаратом представлена следующими элементами системы управления с учетом датчика натяжения проволоки с передаточной функцией $W_d(s) = kg / (Td.s + 1)$:

1. Корректирующее звено с передаточной функцией $W_K(s) = (T_{K1}.s + 1) / (T_{K1}.s + 1)$ с постоянными времени T_{K1}, T_{K2} , Kg – коэффициент жесткости проволоки включенное последовательно с передаточной функцией датчика натяжения,

2. Обратные связи по напряжению (Upr) с ТРН двигателя постоянного тока и преобразователя частоты (Upf) асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором. Следует отметить, что с выхода сумматора, с коэффициентом усиления K_{oc} , напряжение подается на вход ТРН со знаком плюс, а на вход преобразователя частоты со знаком минус. Это позволяет

обеспечить нормальный процесс натяжения проволоки в любом режиме работы асинхронного электропривода намоточного аппарата. На рисунке 3.4 показаны переходные процессы скоростей двигателей ДПТ НВ и асинхронного двигателя намоточного аппарата при рассчитанных параметрах замкнутой системы БВС – НА.

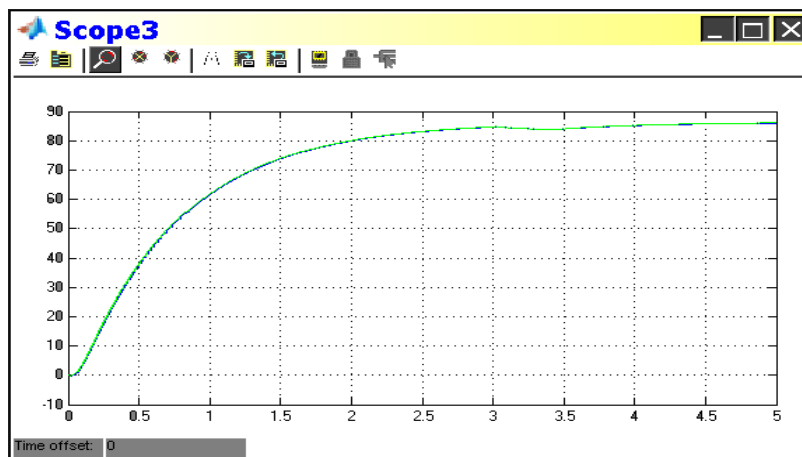


Рисунок 3.4 - Графики переходного процесса скоростей двигателей системы БВС – НА

Из рисунка 3.4 видно очевидное совпадение графиков переходных процессов скоростей двигателей, что соответствует стабилизации натяжения проволоки между чистовым барабаном волочильного стана и намоточным аппаратом, при различных моментах нагрузки. Рассчитанные параметры двигателей с системы управления приведены на рисунке 3.5.

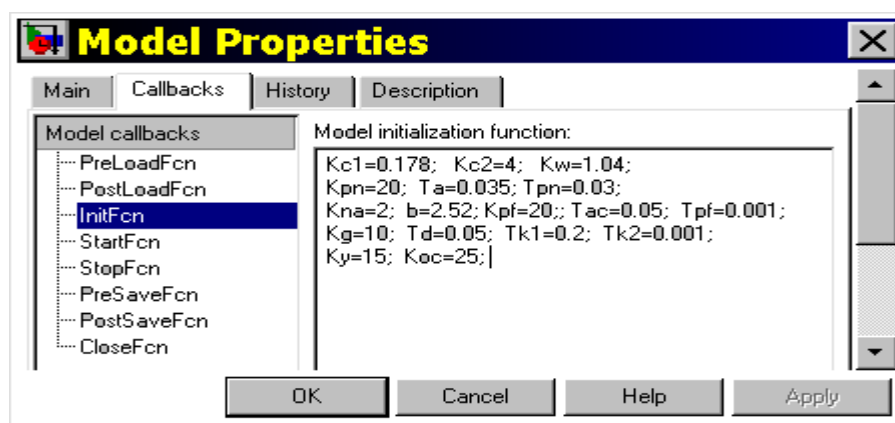


Рисунок 3.5 - Параметры системы БВС – НА

Здесь также отметим, что растет переходных процессов скоростей двигателей, осуществлялся с помощью системы MATLAB. На рисунке 3.6 показан переходной процесс натяжения проволоки с набросом нагрузки асинхронного двигателя намоточного аппарата.

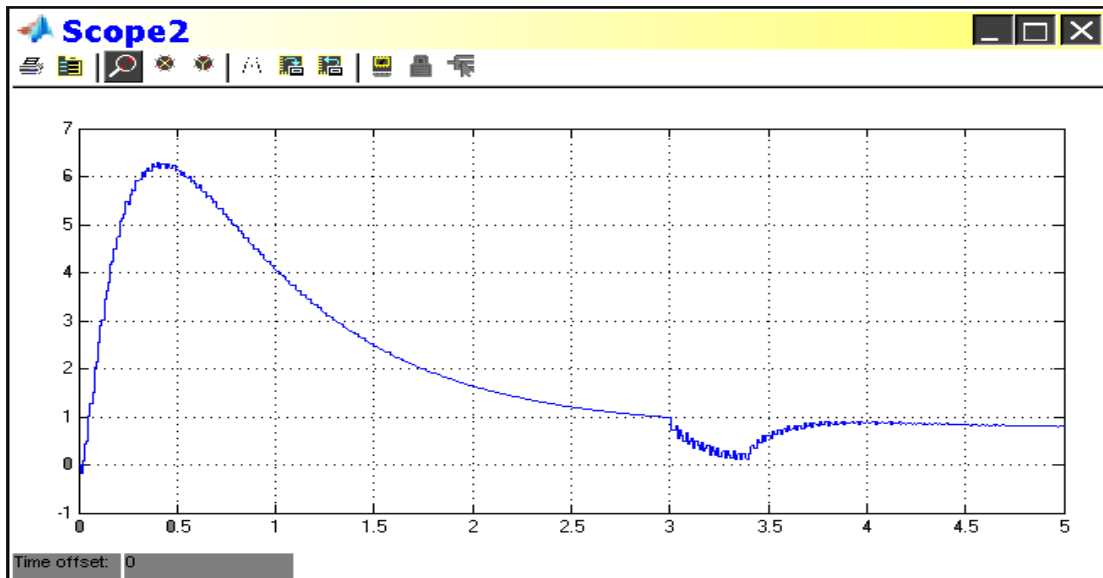


Рисунок 3.6 - График переходного процесса натяжения проволоки

3.4 Устойчивость системы БВС –НА

Одной из необходимых задач исследования динамики системы БВС – НА является задача определения устойчивости предлагаемой системы управления, обеспечивающая стабилизацию натяжения проволоки в процессе намотки её на катушку намоточного аппарата. Определение устойчивости системы автоматического управления осуществляется с помощью математической системы MATLAB на основе передаточной функции системы БВС – НА по предложенной методике [3]. Определение передаточной функции системы БВС – НА выполняется на основе передаточных функций динамических звеньев системы. Передаточную функцию каждого динамического звена системы представляем в виде символьного алгебраического уравнения, где коэффициентами уравнений являются передаточные функции. Система символьных алгебраических уравнений, описывающая динамику БВС – НА имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 (1/w_1) \cdot x_1 - x_2 + h^*(x_3^2/x_5) + Ma &= 0, \\
 x_1 + (1/w_2) \cdot x_2 - x_3 &= 0, \\
 (1/w_3) \cdot x_3 + x_6 - u &= 0, \\
 -x_1 + x_4 + x_7 &= 0, \\
 -w_4 \cdot x_4 + x_5 &= 0, \\
 -a \cdot x_3 - b \cdot w_5 \cdot x_5 + x_6 + a \cdot x_9 &= 0, \\
 x_7 - w_6 \cdot x_8 + w_6 \cdot M_d &= 0, \\
 c \cdot x_7 + (1/w_7) \cdot x_8 - x_9 &= 0, \\
 -x_6 + (1/w_8) \cdot x_9 - u &= 0,
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

где $x_1 = \omega_{AD}$ – частота вращения вала АД намоточного аппарата;
 $x_2 = M_1$ – электромагнитный момент АД;
 $x_3 = U_{PR}$ – напряжение на выходе преобразователя частоты;
 $x_4 = (\omega_{AD} - \omega_{DPT})$ – напряжение с выхода датчиков скоростей;
 $x_5 = U_{DN}$ – напряжение с выхода датчика натяжения проволоки;
 $x_6 = U_{SYM}$ – напряжение с выхода сумматора разности датчиков напряжений с ПЧ чистового блока и ПЧ намоточного аппарата;
 $x_7 = \omega_{DPT}$ – угловая скорость асинхронного двигателя;
 $x_8 = M_{DPT}$ – электромагнитный момент двигателя;
 $x_9 = U_{TPN}$ – напряжение с выхода преобразователя частоты.

Программа решения системы линейных уравнений в символьном виде представлена на рисунке 2.7. Отметим, что в результате решения системы линейных уравнений в символьном виде получается передаточная функция системы БВС-НА, на основе которой определяются корни характеристического уравнения передаточной функции системы. По корням характеристического уравнения передаточной функции системы определяется устойчивость системы БВС – НА.

```

1  function programma
2  - syms w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7 w8
3  - f1=sym('(1/w1)*x1-x2+h*((x5^2)/x5)+Ma');
4  - f2=sym('x1+(1/w2)*x2-x3');
5  - f3=sym('(1/w3)*x3+x6-u');
6  - f4=sym('-x1+x4+x7');
7  - f5=sym('-w4*x4+x5');
8  - f6=sym('-a*x3-b*w5*x5+x6+a*x9');
9  - f7=sym('x7-w6*x8+w6*Md');
10 - f8=sym('c*x7+(1/w7)*x8-x9');
11 - f9=sym('-x6+(1/w8)*x9-u');
12 - [x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9]=...
13     solve(f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f9);
14 - w1=tf([2],[1 0]); w2=tf([2.52],[0.05 1]);
15 - w3=tf([20],[0.001 1]); w4=tf([10],[1 0]);
16 - w5=tf([0.2 1],[0.001 1]); w6=tf([0.178],[1 0]);
17 - w7=tf([4],[0.035 1]); w8=tf([20],[0.03 1]);
18 - a=20; k=10; b=a*k; c=1.04;
19 - h=10; Ma=30; Md=63.68; u=10;
20 - R1=eval(x1);
21 - Ws1=minreal(R1)
22 - p=pole(Ws1)
23 - end
24

```

Рисунок 3.7 - Программа определения устойчивости системы БВС – НА

Решение системы линейных уравнений в символьном виде (строки 3, 4, ..., 11) осуществляется с помощью функции MATLAB *solve* (строка 12). В строках 13, ..., 16 показаны передаточные функции с предварительно

рассчитанными с их численными значениями. Передаточная функция

$W_{s1} = x1/u_z$ имеет вид:

Transfer function:

$$\begin{aligned} & -60 s^{80} - 2.639e007 s^{79} - 6.526e011 s^{78} - 7.929e015 s^{77} \\ & - 6.208e019 s^{76} - 3.508e023 s^{75} - 1.522e027 s^{74} \\ & - 5.274e030 s^{73} - 1.497e034 s^{72} - 3.55e037 s^{71} \\ & - 7.127e040 s^{70} - 1.224e044 s^{69} - 1.812e047 s^{68} \\ & - 2.327e050 s^{67} - 2.604e053 s^{66} - 2.548e056 s^{65} \\ & - 2.185e059 s^{64} - 1.645e062 s^{63} - 1.089e065 s^{62} \\ & - 6.334e067 s^{61} - 3.241e070 s^{60} - 1.458e073 s^{59} \\ & - 5.768e075 s^{58} - 2.005e078 s^{57} - 6.119e080 s^{56} \\ & - 1.639e083 s^{55} - 3.853e085 s^{54} - 7.935e087 s^{53} \\ & - 1.429e3090 s^{52} - 2.239e092 s^{51} - 3.03e094 s^{50} \\ & - 3.477e096 s^{49} - 3.241e098 s^{48} - 2.153e100 s^{47} \\ & - 3.445e101 s^{46} + 1.76e104 s^{45} + 3.612e106 s^{44} \\ & + 4.77e108 s^{43} + 5.063e110 s^{42} + 4.609e112 s^{41} \\ & + 3.703e114 s^{40} + 2.668e116 s^{39} + 1.74e118 s^{38} \\ & + 1.035e120 s^{37} + 5.639e121 s^{36} + 2.824e123 s^{35} \\ & + 1.304e125 s^{34} + 5.563e126 s^{33} + 2.197e128 s^{32} \\ & + 8.041e129 s^{31} + 2.731e131 s^{30} + 8.613e132 s^{29} \\ & + 2.524e134 s^{28} + 6.875e135 s^{27} + 1.741e137 s^{26} \\ & + 4.097e138 s^{25} + 8.962e139 s^{24} + 1.821e141 s^{23} \\ & + 3.434e142 s^{22} + 6.006e143 s^{21} + 9.73e144 s^{20} \\ & + 1.458e146 s^{19} + 2.019e147 s^{18} + 2.575e148 s^{17} \\ & + 3.021e149 s^{16} + 3.25e150 s^{15} + 3.196e151 s^{14} \\ & + 2.862e152 s^{13} + 2.323e153 s^{12} + 1.699e154 s^{11} \\ & + 1.114e155 s^{10} + 6.49e155 s^9 + 3.329e156 s^8 \\ & + 1.485e157 s^7 + 5.678e157 s^6 + 1.822e158 s^5 \\ & + 4.774e158 s^4 + 9.808e158 s^3 + 1.482e159 s^2 \\ & + 1.463e159 s + 7.09e158 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & s^{81} + 4.398e005 s^{80} + 1.088e010 s^{79} + 1.322e014 s^{78} \\ & + 1.035e018 s^{77} + 5.85e021 s^{76} + 2.54e025 s^{75} \\ & + 8.804e028 s^{74} + 2.502e032 s^{73} + 5.938e035 s^{72} \\ & + 1.194e039 s^{71} + 2.054e042 s^{70} + 3.047e045 s^{69} \\ & + 3.925e048 s^{68} + 4.408e051 s^{67} + 4.333e054 s^{66} \\ & + 3.738e057 s^{65} + 2.835e060 s^{64} + 1.894e063 s^{63} \\ & + 1.115e066 s^{62} + 5.793e068 s^{61} + 2.657e071 s^{60} \\ & + 1.077e074 s^{59} + 3.861e076 s^{58} + 1.226e079 s^{57} \\ & + 3.452e081 s^{56} + 8.643e083 s^{55} + 1.929e086 s^{54} \\ & + 3.846e088 s^{53} + 6.878e090 s^{52} + 1.107e093 s^{51} \\ & + 1.607e095 s^{50} + 2.115e097 s^{49} + 2.529e099 s^{48} \\ & + 2.758e101 s^{47} + 2.75e103 s^{46} + 2.514e105 s^{45} \\ & + 2.113e107 s^{44} + 1.637e109 s^{43} + 1.171e111 s^{42} \\ & + 7.751e112 s^{41} + 4.755e114 s^{40} + 2.708e116 s^{39} \\ & + 1.433e118 s^{38} + 7.061e119 s^{37} + 3.24e121 s^{36} \\ & + 1.386e123 s^{35} + 5.531e124 s^{34} + 2.06e126 s^{33} \\ & + 7.165e127 s^{32} + 2.327e129 s^{31} + 7.06e130 s^{30} \\ & + 3.011e136 s^{26} + 6.468e137 s^{25} + 1.294e139 s^{24} \\ & + 2.41e140 s^{23} + 4.172e141 s^{22} + 6.705e142 s^{21} \\ & + 9.986e143 s^{20} + 1.376e145 s^{19} + 1.75e146 s^{18} \\ & + 2.049e147 s^{17} + 2.203e148 s^{16} + 2.167e149 s^{15} \\ & + 1.944e150 s^{14} + 1.582e151 s^{13} + 1.163e152 s^{12} \\ & + 7.669e152 s^{11} + 4.505e153 s^{10} + 2.337e154 s^9 \\ & + 1.058e155 s^8 + 4.129e155 s^7 + 1.363e156 s^6 \\ & + 3.724e156 s^5 + 8.145e156 s^4 + 1.362e157 s^3 \\ & + 1.616e157 s^2 + 1.188e157 s + 3.92e156 \end{aligned}$$

Корни характеристического уравнения передаточной функции системы БВС – НА рассчитанные с помощью функции *pole* (строка 22) имеют следующий вид:

```
p = 1.0e+005 * (-4.1430 -0.0178 -0.0172 + 0.0027i -0.0172 - 0.0027i
-0.0155 + 0.0048i -0.0155 - 0.0048i -0.0133 + 0.0060i -0.0133 - 0.0060i
-0.0112 + 0.0063i -0.0112 - 0.0063i -0.0093 + 0.0059i -0.0093 - 0.0059i
0.0106 + 0.0031i -0.0106 - 0.0031i -0.0079 + 0.0052i -0.0079 - 0.0052i
-0.0068 + 0.0042i -0.0068 - 0.0042i -0.0060 + 0.0032i -0.0060 - 0.0032i
-0.0055 + 0.0021i -0.0055 - 0.0021i -0.0052 + 0.0009i -0.0052 - 0.0009i
-0.0054 -0.0010 -0.0010 + 0.0002i -0.0010 - 0.0002i
-0.0009 + 0.0004i -0.0009 - 0.0004i -0.0008 + 0.0004i -0.0008 - 0.0004i
-0.0006 + 0.0005i -0.0006 - 0.0005i -0.0005 + 0.0005i -0.0005 - 0.0005i
-0.0004 + 0.0005i -0.0004 - 0.0005i -0.0006 -0.0003 + 0.0005i
-0.0003 - 0.0005i -0.0002 + 0.0004i -0.0002 - 0.0004i -0.0001 + 0.0004i
-0.0001 - 0.0004i -0.0002 + 0.0003i -0.0002 - 0.0003i -0.0001 + 0.0003i
-0.0001 - 0.0003i -0.0001 + 0.0003i -0.0001 - 0.0003i -0.0003
-0.0002 + 0.0001i -0.0002 - 0.0001i -0.0001 + 0.0002i -0.0001 - 0.0002i
-0.0001 + 0.0002i -0.0001 - 0.0002i -0.0001 + 0.0002i -0.0001 - 0.0002i
-0.0002 + 0.0001i -0.0002 - 0.0001i -0.0001 + 0.0001i -0.0001 - 0.0001i
-0.0001 + 0.0001i -0.0001 - 0.0001i -0.0001 + 0.0001i -0.0001 - 0.0001i
-0.0001 + 0.0001i -0.0001 - 0.0001i -0.0001 + 0.0001i -0.0001 - 0.0001i
-0.0001 + 0.0000i -0.0001 - 0.0000i -0.0001 + 0.0000i -0.0001 - 0.0000i
-0.0000 -0.0001 + 0.0000i -0.0001 - 0.0000i -0.0001 -0.0001
```

Из показаний расчета корней характеристического уравнения передаточной функции системы видно, что вещественные части корней характеристического уравнения отрицательные – система устойчива [4].

3.5 Параметрический синтез устойчивой системы БВС – НА

Установление факта устойчивости системы управления БВС – НА является необходимым условием нормальной работы блока волоочильного стана и намоточного аппарата. Однако это далеко недостаточно, так как не всегда обеспечивается соответствующее натяжение проволоки в процессе намотки её на барабан намоточного аппарата вызванное отклонениями регулируемых параметров превышающие допустимые значения, несмотря на то, что параметры могут удовлетворять всем условиям устойчивости. В связи с этим здесь ставится задача синтеза параметров системы управления БВС – НА таким образом, чтобы выбрать параметры системы управления наилучшим образом с помощью предлагаемой программы в системе MATLAB. Программа синтеза параметров системы управления показана на рисунке 3.8. В начале программы показаны символьные коэффициенты, которыми являются (в данном случае) передаточные функции (строка 3). В программе синтеза параметров системы управления БВС – НА решается система алгебраических уравнений (2.3) в символьном виде с помощью функции *solve* MATLAB [10]. Система алгебраических уравнений (3.3) в символьном виде в программе представлена в строках 5,6, ... , 13. Передаточные функции динамических звеньев (W_i) системы БВС – НА даются в строках 16, 17, ... , 19, с целью получения передаточной функции всей системы. Передаточную функцию по

любой переменной системы управления относительно задающего сигнала получается с помощью функции *eval* (строка 20). Вывод графика переменной во времени осуществляется операторами алгоритмического языка MATLAB (строка 21). Отметим, что в систему алгебраических уравнений в символьном виде введены статические моменты двигателей системы БВС – НА с обозначениями M_a и M_d . M_a – статический момент двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, M_d – статический момент асинхронного двигателя намоточного аппарата.

```

1  function programma
2  - clc
3  - syms w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7 w8
4  - for j=1:50
5  - f1=sym(' (1/w1)*x1-x2+h*((x5^2)/x5)+Ma ');
6  - f2=sym(' x1+(1/w2)*x2-x3 ');
7  - f3=sym(' (1/w3)*x3+x6-u ');
8  - f4=sym(' -x1+x4+x7 ');
9  - f5=sym(' -w4*x4+x5 ');
10 - f6=sym(' -a*x3-b*w5*x5+x6+a*x9 ');
11 - f7=sym(' x7-w6*x8+w6*Md ');
12 - f8=sym(' c*x7+(1/w7)*x8-x9 ');
13 - f9=sym(' -x6+(1/w8)*x9-u ');
14 - [x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9]=solve(f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f9);
15 - a=rand*50; k=rand*50; b=a*k; h=rand*1000;
16 - w1=tf([2],[1 0]); w2=tf([2.52],[0.05 1]);
17 - w3=tf([20],[0.001 1]); w4=tf([20],[1 0]);
18 - w5=tf([0.2 1],[0.001 1]); w6=tf([0.178],[1 0]);
19 - w7=tf([4],[0.035 1]); w8=tf([60],[0.03 1]);
20 - c=1.04; Ma=10; Md=63.68; u=10; R1=eval(x5); Ws1=minreal(R1);
21 - t=[0:0.001:5]; [y,t]=step(Ws1,t); plot(t,y)
22 - grid; if (a<=30) & (h>=500) break;end;end
23 - disp('a='); disp(a); disp('k='); disp(k); disp('h='); disp(h);
24 - end

```

Рисунок 2.8 Программа синтеза параметров системы управления чистового блока волочильного стана и его намоточного аппарата

С помощью разработанной программы синтеза параметров системы управления определяются следующие параметры: коэффициент обратной связи с выхода сумматора обратных связей по напряжению тиристорного преобразователя напряжения и преобразователя частоты, и напряжения с выхода корректирующего динамического звена системы, коэффициент обратной связи с выхода датчика натяжения и коэффициент передачи корректирующего звена.

Результаты счета программы синтеза:
График переходного процесса натяжения проволоки имеет вид (рисунок 3.9)

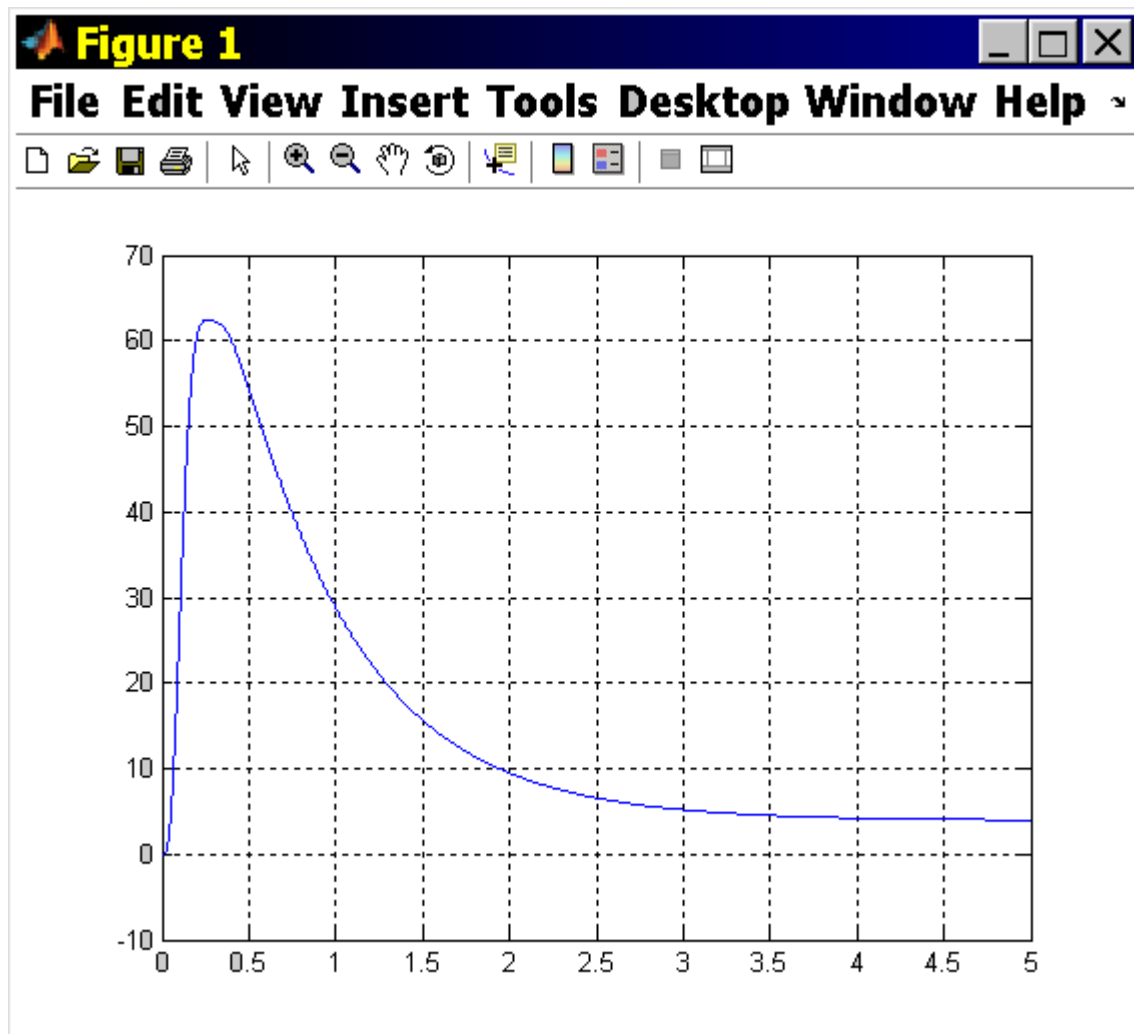


Рисунок 3.9 График переходного процесса натяжения проволоки между БВС – НА.

Численные значения рассчитанных параметров – коэффициентов обратных связей имеют следующие значения:

$$K_{oc}=6.5491; K_y=47.0410; K_{reg}=63.1668$$

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала волочильном цехе

В дипломном проекте разработана система электропривода намоточного аппарата на основании использования преобразователя частоты для питания электродвигателя постоянного тока и асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. В состав схемы электропривода намоточного аппарата входят преобразователь частоты с приводным двигателем постоянного тока и источник питания (трансформатор), на случай аварийной ситуации предусмотрено включение резервного питания (АВР) в виде дизельного генератора. Вращающиеся части машины постоянного тока для безопасности обслуживающего персонала закрыты защитными кожухами.

Рабочее место для выполнения работы в положении стоя соответствует требованиям ГОСТа (ГОСТ 12.2.033-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»). В конструкции его элементов учитываем характер работы и психологические особенности человека. Намоточный аппарат расположен в волочильном цехе, в котором постоянно присутствует не менее 6-ти человек, в одну смену с 9-ти часов утра до 18-ти часов вечера [16].

Цех с волочильным оборудованием, представленный на рисунке 4.1, имеет следующий размеры: длина $A=18$ м, ширина цеха $B=9$ м, высота $H=3,2$ м. Высота рабочей поверхности над уровнем пола 0,8 м, окна начинаются с высоты 0,8 м, высота окон 1,8 м. Окна расположены с северной стороны практически во всю стену. В северо-западном углу находится выход, запасной выход находится в противоположном углу. С правой стороны окон находится пожарный щит. Цех освещается лампами дневного света. Так как двери приёма и отправки металла почти всегда открыты, вентиляция цеха проходит естественным путём. Для дополнительной вентиляции в стенах имеются вентиляционные решетки.

Условия труда в волочильном цехе благоприятны и отвечают требованиям производственной санитарии. Категория работы данного помещения-средней тяжести IIa, (не требующая определенного физического напряжения). Для сохранения здоровья работников в волочильном цехе предельно допустимый уровень (ПДУ) и предельно допустимая концентрация (ПДК) физических факторов.

В современных машиностроительных заводах цеха оснащены различного вида технологическими оборудованьями, делающими труд человека более легким и делая его производительным, но в некоторых случаях работа этого оборудованья связана с производственной опасностью, воздействием на рабочих вредными и опасными производственными факторами

Таблица 4.1-ПДУ и ПДК физических факторов в волочильном цехе

Шум (уровень звука) дБ	Температура °С		Запыленность мг/м ³
	Лето	Зима	
80-90	18-27	17-23	6,0

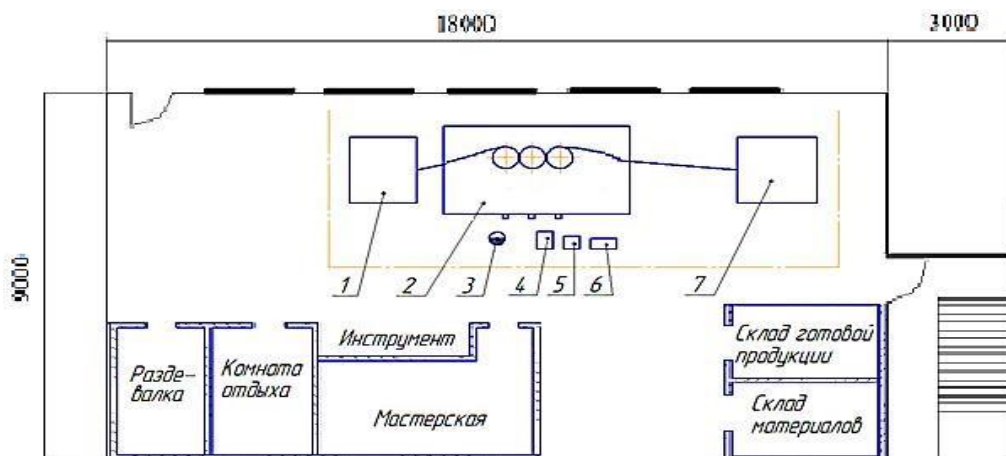


Рисунок 4.1 - План размещения оборудования в волочильном цехе

1-намоточный аппарат; 2-волочильный стан; 3-работник; 4-управляющий пульт; 5-стационарные ножницы; 6-аппарат сварки; 7-размоточный аппарат.

В процессе волочения проволоки на многократном волочильном стане имеется множество технологических операций и сложное электромеханическое оборудование.

В проволоке возникают большие напряжения из-за волочения проволоки на больших скоростях. Возможный разрыв проволоки, несет сильный разрушающий характер. Также большую опасность производственного травматизма несут множество вращающихся деталей расположенных на волочильном стане.

Следует также заметить, что безопасность и безвредность труда зависят от параметров производственной среды (микроклимата, вредных выделений от сгорания смазочного материала и других производственных вредностей). Металлическая пыль волочильных цехов имеет размеры менее 50мкм, составляемая около 85% от пыли в цехе. Около 20% от этой пыли, составляет пыль размером 5-10мкм, образуемая от испарения окалина, эта пыль разноситься по всему цеху, при выбросе пыли от всех источников ее образования в среднем накапливается около 200 г на 1т товарной продукции (проволоки). В зависимости от форм и размеров отдельных частиц пыли определяется ее поведение в воздухе. Пылинки размером 10 мкм и более оседают и в органы дыхания могут не попасть, особую опасность представляют мелкие частицы пали размером до 5 мкм, которые находятся в воздухе долгое время во взвешенном состоянии, особенно при повышенной подвижности воздуха и могут попасть в организм человека.

Кроме перечисленных опасных факторов, волочильное оборудование является также источником вибраций и шумов в широком диапазоне частот. Это наносит большой ущерб организму человека, повышает утомляемость, снижая производительность труда. Утомление рабочих и операторов из-за шума и вибраций увеличивает число ошибок при работе и способствует возникновению травм. Исходя из параметров мощности двигателей и синхронной скорости вращения, по справочным материалам следует, что для двигателей, мощность которых находится в диапазоне 37 – 55кВт, и частота вращения 1320 – 1900 об/мин, уровень шума составляет 86 дБ, что подходит по предельно допустимому уровню (ПДУ) физических факторов воздействующих на производстве данного типа.

В процессе волочения проволоки из-за работающего оборудования и самого процесса волочения возникает избыток тепла, который влияет на изменение микроклимата.

4.2 Расчет теплового баланса в волочильном цехе

Рассчитаем поступление тепловыделения от источников тепла в помещение

Воздействие излучения тепла оценивается плотностью энергетического потока на рабочем месте определяемого по ГОСТ 12.1.005-88 «Общие требования санитарной гигиены в области рабочей зоны»

Теплопоступления - в холодный период года учитывают тепло от освещения, а в теплый период-от солнечной радиации.

Выделения тепла от работников цеха:

В волочильном цехе постоянно находится 6 работников в одну смену. При работе средней тяжести (категории IIa) человек выделяет 233-290 Вт полного тепла, примем эту величину в размере 290Вт, тогда теплопоступления от людей в цехе:

$$Q_{л} = 6 \cdot 290 = 1,74 \text{ кВт.} \quad (4.1)$$

Выделение тепла от работы электродвигателей:

Для работы стана используют три одинаковых электродвигателя, исходя из этого, рассчитаем тепловыделение от одного двигателя и умножим на их общее количество:

$$Q_{э} = \frac{N_{эу} \cdot k_{загр} \cdot k_{од} \cdot (1-\eta)}{\eta} \quad (4.2)$$

где

$N_{эу}$ -установленная мощность одного электродвигателя, 55 кВт; $k_{загр}$ - коэффициент загрузки электродвигателя, равный отношению мощностей передаваемой к установленной, $k_{загр} = 0,89$;
 $k_{од}$ -коэффициент одновременности работы двигателей, 0,98.

$$Q_3 = \frac{55 \cdot 0,89 \cdot 0,98 \cdot (1-0,86)}{0,86} = 7,87 \text{ кВт},$$

$$Q_3 = 3 \cdot Q_3 = 3 \cdot 7,81 = 23,43 \text{ кВт}. \quad (4.3)$$

Выделение тепла от нагрева при волочении проволоки:

Среднее количество выделяющегося тепла от слоев проволоки, возникающее в результате работы деформации, может быть определено из уравнения [19].

$$Q_{српр} = (t'_{ср} - t_0) \cdot c \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \gamma \cdot \vartheta \cdot 60 \cdot 10^{-6} = \frac{945 \cdot 10^{-6} \cdot D^2 \cdot \eta \cdot \sigma_{ср} \cdot \vartheta \cdot (1-n)}{1-\eta}, \quad (4.4)$$

где $t'_{ср}$ – температура средних слоев проволоки:

$$t'_{ср} = t_0 + \frac{2,2 \cdot \eta \cdot \sigma_{ср} \cdot \vartheta \cdot (1-n)}{(1-\eta)}, \quad (4.5)$$

t_0 – температура проволоки до волочения,

D – диаметр (поперечное сечение) проволоки перед первой протяжкой, $D=8$ мм;

$\sigma_{ср}$ – средняя величина предельной прочности после протяжки, принимаем наибольшему значению, $\sigma_{ср}=1984,9 \text{ Н/мм}^2$;

u – скорость волочения на последнем барабане, $v=2,69 \text{ м/с}$;

n – число зависящее от величины скорости волочения для данного случая, $n=0$;

$\eta=0,1$, при $n=0$ и скорости, не превышающей $3,5 \text{ м/с}$.

$$Q_{српр} = \frac{945 \cdot 10^{-4} \cdot 8^2 \cdot 0,1 \cdot 1984,9 \cdot 2,69}{1-0,1} = 3,588 \text{ кВт}.$$

Количество тепла, поступающего за счет солнечной радиации (для летнего периода):

$$Q_{С.Р.} = \left(0,192 \cdot \frac{l \cdot h \cdot v_B}{\sqrt{S_{ок}}} + 0,24 \cdot L_{Д\gamma} \right) \cdot (t_{нар} - t_{вн}), \quad (4.6)$$

где l – длина проема окон, т.к. окна расположены практически во все стену $l=18 \text{ м}$; h – высота проема окон, $h=1,8 \text{ м}$;

v_B – скорость воздуха, $v_B=3 \text{ м/с}$;

$S_{ок}$ – табличные данные, для окон с двойным остеклением в отдельных деревянных переплетах, $S_{ок}=3,36 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$;

$t_{нар}$, $t_{вн}$ – наружная и внутренняя температура воздуха, $t_{нар}=29^\circ \text{C}$,

$t_{вн} = 18^\circ \text{C}$

$L_{Д\gamma} = A \cdot B \cdot H = 18 \cdot 9 \cdot 3,2 = 518,4 \text{ м}$.

$$Q_{С.Р.} = \left(0,192 \cdot \frac{18 \cdot 1,8 \cdot 3}{\sqrt{3,36 \cdot 10^{-2}}} + 0,24 \cdot 518,4 \right) \cdot (29 - 19) = 2,264 \text{ кВт}.$$

Тепловыделения от источников искусственного освещения (для зимнего периода):

$$Q_{освц} = E \cdot F \cdot q_{осв} \cdot h_{осв}; \quad (4.7)$$

где E-уровень освещённости, E=96,3лк;
F-площадь пола помещения, F=162 м²;

$q_{осв}$ -удельные тепловыделения, для помещений площадью 50-200м², $q_{осв}=0,102$ Вт/(м²·лк); $h_{осв}$ -доля теплоты, поступающей в помещение, для ламп находящихся в помещении, $h_{осв}=1$.

Искусственное освещение осуществляется светильниками. Количество светильников 6, мощность каждого 125Вт, и световым потоком 2600 лм, следует

$$E = \frac{6 \cdot 2600}{162} = 96,3 \text{ лк}. \quad (4.8)$$

$$Q_{освц} = 96,3 \cdot 162 \cdot 0,102 \cdot 1 = 1,6 \text{ кВт}.$$

Суммарные тепловыделения:

Для летнего периода:

$$Q_{ввдл} = Q_{л} + Q_{эобц} + Q_{срп} + Q_{ср} = 1,74 + 23,43 + 3.588 + 2,264 = 31,014 \text{ кВт},$$

Для зимнего периода:

$$Q_{ввдз} = Q_{л} + Q_{эобц} + Q_{срп} + Q_{освц} = 1,74 + 23,43 + 3.588 + 1,6 = 30,35 \text{ кВт}.$$

Рассчитаем тепловые потери в промышленном помещении.

Основные потери тепла - это потери через ограждающие конструкции $Q_{ог}$, Вт [18]:

$$Q_{ог} = \frac{F}{R_0} \cdot (t_B - t_H) \cdot n, \quad (4.9)$$

где F-площадь ограждающих конструкций по наружному обмеру, F=230,4м²; t_B, t_H -температура внутреннего и наружного воздуха (для зимнего периода), $t_B=17^{\circ}\text{C}$, $t_H=-10^{\circ}\text{C}$; n-табличная величина, зависящая от термического сопротивления конструкции, n=0,9.

R_0 -сопротивление теплопередаче наружных стен и полов:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H} = 0.114 + 0.017 + 0.057 = 0.188 (\text{м}^2 \cdot \square) / \text{Вт}, \quad (4.10)$$

где α_B, α_H - внутренний наружный коэффициенты теплоотдачи, $\alpha_B=8,72$ Вт/(м²·°C), $\alpha_H=17,45$ Вт/(м²·°C);

R_K -термическое сопротивление конструкции, $R_K=0,017$ (м²·°C)/Вт;

$$Q_{ог} = \frac{230}{0,188} \cdot (17 - (-10)) \cdot 0,9 = 29,78 \text{ кВт}. \quad (4.11)$$

Если сравнить количество выделяющегося тепла $Q_{выдз} = 30,35 \text{ кВт}$ и количество потерь тепла (для зимнего периода) $Q_{ог} = 29,78 \text{ кВт}$, то можно заметить что они практически одинаковы, и избыток тепла равный $0,578 \text{ кВт}$ для зимнего периода в производственном помещении не будет оказывать серьезного влияния на обслуживающий персонал в холодный период принимают механическую или естественную вытяжную вентиляцию из верхней зоны, рассчитанную на удаление вредных выделений, не уловимых местными отсосами. Предусматривают общеобъемную и местную (воздушное душирование) механическую приточную вентиляцию с подогревом приточного воздуха, рассчитанную на компенсацию вытяжной вентиляции. При избытке тепла в летний период принимают общеобъемную механическую или естественную вытяжную вентиляцию, естественный поток наружного воздуха с подачей его непосредственно в рабочую зону, общеобъемную механическую приточную вентиляцию, где нельзя осуществить естественную приточную вентиляцию. Для летнего периода ($Q_{выдл} = 31,014 \text{ кВт}$) наблюдается большой избыток тепла, т.к. потери тепла отсутствуют, а тепловыделения имеют значительные показатели, поэтому необходимо установление системы вентиляции в цехе, избыток тепла оказывает сильное влияние на организмы рабочих, наступает быстрая утомляемость.

4.3 Расчет системы вентиляции в волочильном цехе

Для перемещения воздуха имеется разветвлённая сеть каналов в системах вентиляции, при установке вентилятора в стене или перекрытии каналы отсутствуют [20]. В общем случае, для систем вентиляции имеется четыре признака, по которым их можно охарактеризовать: по конструктивным особенностям, сфере действия, по назначению, способу побуждения. На рисунке 4.2 представлены основные типы систем вентиляции.

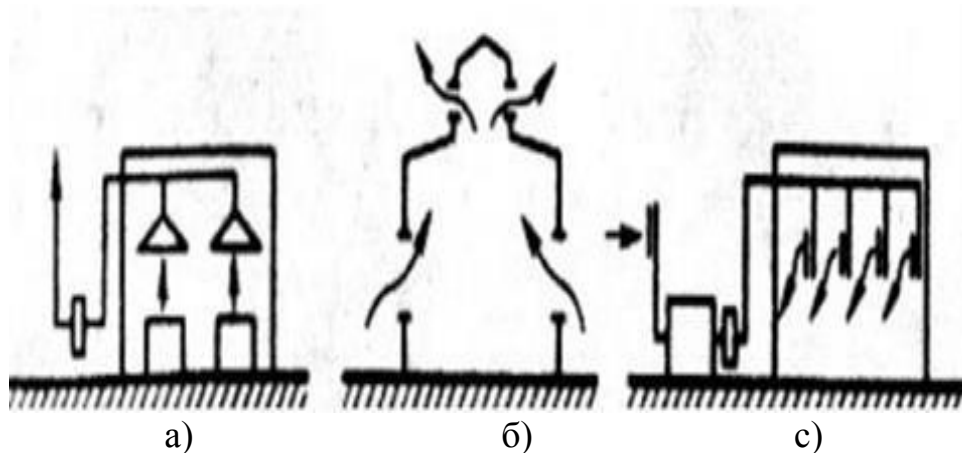


Рисунок 4.2 - Разновидности основных вентиляционных систем

На рисунке отражены основные типы систем вентиляции:

-рисунок 4.2,а - система местная, механическая, вытяжная, канальная (выделяющиеся вредности и тепловыделения удаляются от технологического оборудования)-локальная вентиляция;

-рисунок 4.2,б - система общеобменная, приточная (или вытяжная), бесканальная, естественная(приток воздуха через открывающиеся элементы окон) (удаление-через фонарь);

-рисунок 4.2,в - система механическая, приточная, канальная, общеобменная.

Основной задачей расчета системы вентиляции является определение количества воздуха, которое необходимо подать или удалить из помещения, для нормального воздухообмена и предотвращения возможного образования вакуума в помещениях цеха при работе вентиляционных установок.

Разработка и проектирование системы вентиляции производственных помещений начинается с определения источников, выделяющих вредные вещества и тепло, после этого производится расчет, целью которого стоит выяснить расход вытяжного и приточного воздуха для удаления излишней тепловой массы и вредных веществ и соблюдения нормальных условий для работы людей. Для рассматриваемого мной случая в производственном помещении нет выделения вредных веществ, поэтому рассчитаем только количество свежей воздушной массы, необходимой для людей в соответствии с санитарными нормами.

Вначале рассчитывают, какой будет воздухообмен в цехе, для того чтобы спроектировать один тип вентиляционных сетей с выделением очищенного воздуха в атмосферу:

$$L_1 = \frac{L_{общ}}{V_n} \quad (4.12)$$

где $Q_{общ}$ -общий расход воздуха; V_n -внутренний объем всех рабочего помещения цеха, $518,4\text{м}^3$.

$$L_{общ} = N \cdot m ; \quad (4.13)$$

где

N -количество людей постоянно присутствующих в цехе, 6 человек; m -удельный расход чистого воздуха на 1 человека в час, для помещений с возможностью проветривания составляет $30\text{м}^3/\text{ч}$ на человека.

$$L_{общ} = 6 \cdot 30 = 180\text{м}^3/\text{ч} .$$

Расход уходящего воздуха L_{yx} м³/ч, в помещениях с выделением вредных газов или пыли должен быть не менее однократного воздухообмена в час.

$$L=L_{mo}+L_{yx} \quad (4.14)$$

Если воздухообмен, рассчитанный по формуле (4.12) не больше допустимого (1-1,5 обмена в час), то проектируют первый тип вентиляционных сетей с выбросом очищенного воздуха в атмосферу:

$$L_i = \frac{180}{518.4} = 0.347 \text{ в час}$$

По полученному выражению можно выбрать первый тип системы вентиляции.

Так как я рассматриваю систему вентиляции для помещения с явным избытком тепла. То необходимо провести расчет воздухообмена для частного случая.

Из условия удаления из помещения явного тепла вычисляют воздухообмен L (кг/ч) по формуле:

$$L = \frac{3.6 \cdot Q_{\text{ВЫДЛ}}}{C \cdot (t_{yd} - t_{евв})} \quad (4.15)$$

где $Q_{\text{ВЫДЛ}}$ -количество чрезмерного тепловыделения, 31,014 кВт; C - удельная теплоемкость воздуха, 1 кВт/(кг·°С);

t_{yd} -температура удаляемого из помещения воздуха, для производственных цехов в летний период температура может достигать 40°С; $t_{евв}$ - температура приточного воздуха, 19°С.

$$L = \frac{3.6 \cdot 31.014}{1 \cdot (40 - 19)} = 5.31 \text{ кг/ч}$$

По проведенным расчетам видно, что воздухообмен рассчитанный для частного случая с избытком тепла превышает допустимое значение, то проектируют второй или третий тип вентиляционной системы, т.к. основной задачей вентиляции является устранение избытка тепла, а очищение воздушной среды от пыли не является критически необходимой то может использовать второй тип вентиляции – приточная (вытяжная), общеобъемная, бесканальная.

В зависимости от теплового избытка, плотности, теплоемкости и температуры удаляемого и вводимого воздуха можно определить объем поступающего воздуха (м³/ч):

$$L_{BB} = \frac{Q_{\text{ВЫДЛ}}}{C \cdot (t_{yd} - t_{евв})} \quad (4.16)$$

где $Q_{\text{выдл}}$ количество чрезмерного тепловыделения, 31,014кВт;
С-удельная теплоемкость воздуха, 1 кВт/(кг·°С);
 $\rho_{\text{п}}$ -удельная плотность воздуха в помещении, 1,127кг/м³;
 $t_{\text{уд}}$ -температура удаляемого из помещения воздуха, 40°С;
 $t_{\text{вв}}$ -температура вводимого воздуха в помещение, 19°С.

$$Q_{\text{вв}} = \frac{31,014}{1 \cdot 1,127 \cdot (40-19)} = 1310 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В итоге по проведенным расчетам установлено, что для нормальной работы персонала в волоочильном цехе (в летний период) необходима приточная (вытяжная) система вентиляции с вводимым объемом 1310 м³ воздуха в течение одного рабочего часа.

Для этой функции выбираем вентилятор ВЦ14-46 с производительностью в диапазоне 1330-2000 м³/ч.

В разделе безопасности жизнедеятельности важно было проанализировать насколько благоприятна работа в волоочильном цехе обслуживающего персонала. Для достижения комфортного и безопасного нахождения людей на рабочем месте, необходимо было рассчитать и изучить условия труда в волоочильном цехе.

В первой части главы было рассмотрено влияние технологического оборудования на человека. Как положительное влияние, в виде легкости труда, достигнутого благодаря автоматизации электропривода, так и отрицательное – производственная опасность и вредные факторы. Проверив и изучив все вредные факторы заключаем, трудовая деятельность на нашем цеху опасной не является. К такому же заключению мы пришли в следствие расчета теплового баланса непосредственно на рабочем месте.

Рассчитав систему вентиляции, и выбрав подходящий вентилятор типа ВЦ14-46-2 с производительностью, подходящей для нашего случая, делаем вывод, что по всем показателям и расчетам, работа в данном цеху приемлема.

5 Экономическая часть

5.1 Эффективность использования системы управления частотно - регулируемого асинхронного электропривода намоточного аппарата

В данном дипломном проекте рассматривался автоматизированный электропривод намоточного аппарата. Исходные данные для расчетов экономического эффекта приведены в задании дипломного проекта, а также рассчитаны в технологической части проекта.

В экономической части мы рассчитываем систему преобразователь частоты – асинхронный двигатель для намоточного аппарата, которая будет осуществлять плавный пуск намоточного аппарата. Использование системы управления позволяет повысить производительность сушильного агрегата,

обеспечить гибкость производства и создать высокий технико-экономический эффект.

В дипломном проекте разработана система управления частотно-регулируемым электроприводом намоточного аппарата. Разработанная система управления ПЧ-АД имеет более широкий диапазон регулирования частот вращения вала-двигателя. Это позволяет экономить электроэнергию.

Оптимизация системы управления электроприводом намоточного аппарата позволяет снизить расход электроэнергии, увеличить ресурс работы электродвигателей и увеличить срок службы асинхронного двигателя и уменьшить влияние внешних воздействий на установившийся режим работы этой сушилки.

- энергосбережение до 40%
- увеличение $\cos\varphi$ до 0,9-0,95
- увеличить КПД до 97%
- совместное управление регуляторами

5.2 Расчет приведенных затрат

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K + C_{\Sigma}. \quad (5.1)$$

Начальные затраты вычитываются путем расчета капитальных вложений, которые состоят из сметной стоимости электропривода, стоимости пускорегулирующей аппаратуры, стоимости монтажных работ, транспортно-заготовительных расходов и плановых накоплений монтажной организации.

Наиболее дорогостоящими составляющими электропривода являются двигатель и преобразователь. Таким образом, сметная стоимость электропривода:

$$1. k_{\text{эп}} = k_{\text{дв}} + k_{\text{п}} = 45000 + 55000 = 110000 \text{ тенге}, \quad (5.2)$$

2.

где $k_{\text{дв}}$ – стоимость электродвигателя (ДПТ), тенге;

$k_{\text{п}}$ – стоимость преобразователя, тенге.

Стоимость пускорегулирующей аппаратуры определяется как определенная часть (12%) стоимости преобразователя. Тогда:

$$k_{\text{пр}} = 0,12 \cdot 55000 = 6600 \text{ тенге}.$$

Стоимость монтажных работ вычисляется отдельно для электропривода и рабочего механизма. Для электропривода эту величину можно принять равной 6% от стоимости электропривода $k_{\text{эп}}$, для рабочего механизма – 5% стоимости электропривода. Таким образом стоимость монтажных работ:

$$k_{\text{мр}} = (0,06 + 0,05) \cdot 110000 = 12100 \text{ тенге}.$$

Транспортно – заготовительные расходы составляют 2% от суммы стоимости электропривода и стоимости монтажных работ:

$$k_{\text{тзр}}=0,02(k_{\text{эп}}+k_{\text{мр}})=0,02\cdot(110000+12100)=2500\text{тенге.}$$

Для наглядности выполненный расчет капитальных вложений сведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет капитальных вложений

Источники затрат	Стоимость, тенге
1 Электродвигатель	45000
2 Преобразователь	55000
3 Пускорег. Аппаратура	6600
4 Монтажные работы	12100
5 Транспортно-заготовительные расходы	2500
6 Цех	20400000
Суммарные кап. вложения	20512100

При расчете эксплуатационных затрат главное значение имеет величина периода, за который делается расчет. В своих расчетах ограничимся периодом 1 год.

Годовые истраченные расходы – это суммарные затраты на электропривод и рабочий механизм, необходимые для эксплуатации механизма в течение года и выпуска годового объема продукции, то есть себестоимость эксплуатации механизма. За год эксплуатационные расходы в общем случае включают в себя стоимость потребленной электроэнергии, амортизационные отчисления и годовые затраты по эксплуатации электрической части установки.

Затраты на электроэнергию определяются устанавливается количеством энергии, потребляемой за год, номинальной мощностью двигателя, а также тарифной ставкой на электроэнергию. Для расчета энергии, потребляемой за год, нужно знать суммарное время работы электропривода за год, которое определяется коэффициентом использования:

$$k_{\text{исп}} = \frac{\text{ПВ} \cdot t_{\text{раб.см}}}{t_{\text{см}} \cdot 100\%} = \frac{100 \cdot 6}{8 \cdot 100} = 0,75; \quad (5.3)$$

где ПВ - продолжительность включения установки, %;
 раб. см - продолжительность работы установки за смену, ч. ;
 см – число рабочих часов за смену.

Зная коэффициент $k_{исп}$ можно вычесть число рабочих часов установки в году:

$$T_{г} = T_{раб.дн} \cdot n_{см} \cdot t_{см} \cdot k_{исп} = 253 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,75 = 1518 \text{ч.}; \quad (5.4)$$

где Траб.дн- число рабочих дней в году; псм - число рабочих смен в сутки; Энергия, потребляемая за год, определяется по формулам:

$$\mathcal{E}_{г} = P_{дв.н} \cdot \frac{T_{г}}{\eta_{н}} = 1,5 \cdot \frac{1518}{0,78} = 2919 \text{ кВт.ч.}; \quad (5.5)$$

где $P_{дв.н}, \eta_{н}$ – номинальные параметры двигателя асинхронного двигателя (таблице 4.1);

Таким образом, затраты на электроэнергию:

$$C_{э} = \mathcal{E}_{г} \cdot C_{осн}; \quad (5.6)$$

$$C_{э} = 2919 \cdot 12,56 = 36662 \text{тенге}$$

где $C_{осн}$; – тарифная ставка, тенге./кВт.ч. (основная оплата).

Амортизационные отчисления составляют 9.5 % от сметной стоимости электропривода.

$$C_{а} = 0,095 \cdot k_{эл} = 0,095 \cdot 110000 = 10450 \text{тенге.} \quad (5.7)$$

где $k_{эл}$ – сметная стоимость электропривода постоянного тока, тенге.

Издержки на эксплуатацию оборудования включают в себя множество составляющих. Оборудование электроприводов обоих вариантов является ремонтируемым, оно проходит планово-предупредительные ремонты, периодичность и объем проведения которых регламентируется сметой планово- предупредительных ремонтов. Кроме того оборудование нуждается в регулярном техническом обслуживании, требующем также определенных затрат. Таким образом, затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание оборудования можно определить как сумму затрат на заработную плату ремонтных рабочих, стоимости материалов для ремонта и обслуживания, общецеховых и общезаводских расходов.

Заработная плата ремонтных рабочих определяется количеством времени, необходимым для проведения ремонтно-эксплуатационного обслуживания электрической части оборудования, которая в свою очередь зависит от норм трудоемкости ремонта и технического обслуживания оборудования. Всю систему электропривода можно разделить на 4 основные части: двигатель, преобразователь, трансформатор и пускорегулирующая аппаратура. Для каждой из этих частей отдельно находится трудоемкость ремонта и технического обслуживания. Затем эти величины суммируются. Для расчета трудоемкости требуется определить плановую продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода, число ремонтов в год ит.д.

Плановая продолжительность ремонтного цикла (ремонтный цикл – наработка энергетического оборудования, выраженная в годах календарного времени между двумя капитальными плановыми ремонтами):
для асинхронного электродвигателя:

$$T_{\text{пл.дв}} = T_{\text{табл.дв}} \cdot \beta_p \cdot \beta_0 = 9 \cdot 2 \cdot 0,85 = 15,3 \text{года.} \quad (5.8)$$

где $T_{\text{табл.дв}}$ - продолжительность ремонтного цикла для электродвигателей;

β_p – коэффициент, определяемый сменностью работы оборудования;

β_0 – коэффициент, учитывающий уменьшение ремонтного цикла машин, отнесенных к категории основного оборудования;
для преобразователя частоты:

$$T_{\text{пл.пр}} = T_{\text{табл.пр}} \cdot \beta_0 = 6 \cdot 0,85 = 5,1 \text{год,} \quad (5.9)$$

где $T_{\text{табл.вып}}$ – продолжительность ремонтного цикла для преобразователей частоты.

Плановая продолжительность межремонтного периода (межремонтный период – наработка энергетического оборудования, выраженная в месяцах календарного времени между двумя плановыми ремонтами):
для асинхронного электродвигателя:

$$t_{\text{пл.дв}} = t_{\text{табл.дв}} \cdot \beta_p \cdot \beta_0 = 9 \cdot 2 \cdot 0,7 = 12,6 \text{мес.} \quad (5.10)$$

для преобразователя частоты:

$$t_{\text{пл.пр}} = t_{\text{табл.пр}} \cdot \beta_0 = 18 \cdot 0,7 = 12,6 \text{мес.} \quad (5.11)$$

где $t_{\text{табл.пр}}$ - продолжительность межремонтного периода для преобразователей частоты.

По полученным величинам можно рассчитать количество капитальных и текущих ремонтов в расчете на 1 год. Количество капитальных ремонтов в год сначала рассчитаем для асинхронного электродвигателя:
для асинхронного электродвигателя:

$$M_{\text{к.р.2дв}} = 12 / T_{\text{пл.2дв}} = 12 / 12,6 = 0,95, \quad (5.12)$$

для преобразователя частоты:

$$M_{\text{к.р.пр}} = 12 / T_{\text{пл.пр}} = 12 / 12,6 = 0,95. \quad (5.13)$$

Количество текущих ремонтов в расчете на 1 год определяется аналогично:

$$M_{\text{тр.дв}}=0,95; M_{\text{тр.пр}}=0,95. \quad (5.14)$$

По заданному количеству ремонтов в год, а также по заданной норме трудоемкости (табличная величина) выполняется годовая трудоемкость ремонтов. Годовая трудоемкость капитальных ремонтов электрических машин рассчитывается по формулам:
для асинхронного двигателя:

$$T_{\text{кр.дв}}=M_{\text{кр.дв}} \cdot N_{\text{кр.дв}} \cdot k_{\text{вк}}=0,95 \cdot 32 \cdot 1,1=36 \text{ чел. часа}, \quad (5.15)$$

где $N_{\text{кр.дв}}$ – норма трудоемкости капитальных ремонтов для электродвигателей заданной мощности;

$k_{\text{вк}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий частоту вращения электродвигателя;

$k_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение трудоемкости эксплуатации коллекторных машин;
для преобразователя частоты:

$$T_{\text{кр.пр}}=M_{\text{кр.пр}} \cdot N_{\text{кр.пр}}=0,95 \cdot 50=47,5 \text{ чел. часа}. \quad (5.16)$$

Годовая трудоемкость текущих ремонтов для соответствующих типов оборудования определяется аналогично трудоемкости капитальных ремонтов:

$$T_{\text{тр.дв}}=M_{\text{тр.дв}} \cdot N_{\text{тр.дв}} \cdot k_{\text{в}}=0,95 \cdot 7 \cdot 1,1=7,3 \text{ чел. часа}, \quad (5.17)$$

$$T_{\text{тр.пр}}=M_{\text{тр.пр}} \cdot N_{\text{тр.пр}}=0,95 \cdot 15=14,25 \text{ чел. часа}, \quad (5.18)$$

где $N_{\text{т.р.дв}}$, $N_{\text{т.р.тр}}$, $N_{\text{т.р.вып}}$ и $N_{\text{т.р.пр}}$ – нормы трудоемкости текущего ремонта для различных типов оборудования (находятся по тем же таблицам, что и для капитального ремонта).

Для пускорегулирующей аппаратуры годовая трудоемкость капитального (текущего) ремонта принимается равной 25% от трудоемкости капитального (текущего) ремонта электропривода, которое в свою очередь складывается из трудоемкости ремонта двигателя и преобразователя:

$$T_{\text{пр.кр}}=0,25 \cdot (T_{\text{кр.дв}} + T_{\text{кр.пр}})=0,25 \cdot (7,3+36)=11 \text{ чел. часа}, \quad (5.19)$$

$$T_{\text{пр.тр}}=0,25 \cdot (T_{\text{тр.дв}} + T_{\text{тр.пр}})=0,25 \cdot (14,25+36)=12,6 \text{ чел. часа}.$$

Трудоемкость технического обслуживания оборудования используется равной 10% от нормы трудоемкости текущего ремонта оборудования без учета

поправочных коэффициентов. Таким образом, за год трудоемкость обслуживания оборудования можно определить по формуле:

$$T_{т.о.пр} = 1,2 \cdot 12 \cdot N_{тр.пр} = 0,1 \cdot 12 \cdot 15 = 18 \text{ чел. часа.} \quad (5.20)$$

По известной годовой трудоемкости эксплуатации оборудования, учитывая тарифную ставку ремонтного рабочего, а также соответствующие налоги можно определить затраты на заработную плату ремонтных рабочих за год:

$$C_{зп} = C_{тар} \cdot C_{нал} \cdot T_{сум2}, \quad (5.21)$$

$$C_{зп} = 510 \cdot 1,6 \cdot 46,43 = 37886 \text{ тенге,}$$

где $T_{сум.1}$ - Суммарная трудоемкость эксплуатации оборудования электропривода переменного тока.

Цена материалов для ремонта и обслуживания оборудования принимается равной 100% от основной заработной платы ремонтных рабочих без учета затрат на выплату налогов:

$$C_{мат} = C_{тар} \cdot T_{сум} = 510 \cdot 127,3 = 84562 \text{ тенге.} \quad (5.22)$$

Общехозяйственные расходы применяются равными 100% от основной заработной платы без учета налогов, т.е. в этом случае они равны стоимости материалов для ремонта и обслуживания оборудования:

$$C_3 = 0,5 C_ц = 0,5 \cdot 84562 = 42281 \quad (5.23)$$

Таким образом, найдены все величины, необходимые для расчета годовых затрат по эксплуатации электрической части установки а также для определения годовых эксплуатационных расходов для обоих вариантов Полные же затраты вычитывается как сумма капиталовложений и годовых эксплуатационных расходов.

$$C_{экс.эл} = (C_{зп} + C_{мат} + C_ц + C_3), \quad (5.24)$$

$$C_{экс.} = (C_3 + C_а + C_{экс.эл}). \quad (5.25)$$

$$C_{экс.эл} = 37886 + 84562 + 84562 + 42281 = 249291 \text{ тенге,}$$

$$C_{экс.} = 552830 + 95321 + 97173 = 745374 \text{ тенге.}$$

Определим полные затраты:

$$C_{\Sigma} = C_a + C_{\text{э}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{ц}} + C_{\text{з}} + C_{\text{экс.эп}} + C_{\text{экс}}, \quad (5.26)$$

$$C_{\Sigma} = 10450 + 36662 + 37886 + 84562 + 84562 + 42281 + 97173 + 745374 = 1138950 \text{ тенге.}$$

Расчет приведенных затрат произведем по формуле:

$$Z_{\text{прив}} = E_n \cdot K \cdot C, \quad (5.27)$$

где $E_n = 0,15$ – согласно рекомендациям ЮНИДО для развивающихся стран.

$$Z_{\text{прив}} = 0,15 \cdot 20512100 + 1138950 = 4215765 \text{ тенге}$$

Стоимость сырья для производства (нержавеющая сталь) $C_{\text{ср}} = 300 \text{ тг/кг}$.
 Стоимость готовой продукции (проволока) $C_{\text{пр}} = 9500 \text{ тенге за 1 метр (15кг)}$.
 Ежедневно цех выпускает $k=200 \text{ м}$ стальной проволоки.

Прибыль с продукции:

$$k \cdot (C_{\text{пр}} - C_{\text{ср}}) \cdot k_p = 200 \cdot (634 - 300) = 1400000 \text{ тенге/мес.}$$

Срок окупаемости капитальных вложений рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{20512100 + 4215765}{1400000} = 18 \text{ мес.} = 1,5 \text{ года.}$$

В результате проведенного сравнения видно, что вариант электропривода с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты экономически целесообразней, чем асинхронный двигатель без регулирования. В результате проведенных работ, мы добились следующих экономических эффектов:

- Снижение затрат на энергоресурсы за счет плавного регулирования скорости вращения электродвигателей.
- Продление срока службы оборудования за счет исключения ударных механических нагрузок и пиковых пусковых токов.
- Увеличение производительности станков и технологических линий за счет регулирования скорости вращения электродвигателей.

Заключение

В данной дипломной работе был разработан высокоскоростной намоточный аппарат непрерывного действия. Непрерывная намотка металлической проволоки на катушку была достигнута путем введения намоточного аппарата с параллельным расположением катушек.

Намоточный аппарат был оснащен самостоятельной системой автоматического управления. Наиболее целесообразным по техническим соображениям была выбрана система ПЧ-АД (Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель).

В соответствии с проделанными расчетами, был выбран асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором - АИР80В4 мощностью 1.5 кВт. После электродвигателя, в соответствии с мощностью, выбран преобразователь частоты из серии E-410 - ADV 2.2 E410-M. Мощность преобразователя 2,2 кВт. Были представлены структурные схемы, а также схемы микропроцессора.

Проделано моделирование в MatLab, получены результаты соответствующие поставленным задачам. Доказан факт устойчивости системы.

Список использованной литературы

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. М.: 2004.
2. Электротехнический справочник: Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ: И.Н. Орлова (гл. ред) и др. – 7-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 616с.
3. Кацман М.М. Электрический привод. – М.: Академия, 2005. – 384 с.
4. Когос А.М. Механическое оборудование волочильных и лентопрокатных цехов. – М.: Metallurgia, 1980.
5. Туганбаев А.И: Разработка автоматизированного электропривода двухкатушечного намоточного аппарата волочильного стана: Дисс. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2006.
6. Беспалов Б.В., Пустильников В.М. О влиянии связи между противонатяжением и давлением на волоку на процессы стабилизации усилий волочения в прямоточном волочильном стане // Изв. АН КазССР. – Алма-ата. 1969.
7. Мунсузбаев Т.М., Туганбаев И.Т., Васильев В.Н. Намоточный аппарат волочильного стана как объект автоматизированного управления. – Алма-Ата, 1984.
8. Электротехнический справочник: Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 8-е изд., – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
9. Терехов В.Н., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2008.
10. Антипов С.В., Соловых С.Ю., Василевская С.П. Виды систем вентиляции и методика расчета воздухообмена в помещениях: Методические указания по курсу вентиляционные установки – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003.
11. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (MATLAB): Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
12. Выдрин В.Н. Федосиенко А.С. Автоматизация прокатного производства. – М.: Metallurgia, 1984. -472с.
13. Бородавкин И.Т., Михайлов А.С. Влияние скорости волочения на качество проволоки. - М.: Metallurgia, №9, 1976.
14. Дюсебаев М.К., Бегимбетова А.С. Безопасность жизнедеятельности: Методические указания к выпускной работе. Алматы: АИЭС, 2008.
15. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (MATLAB): Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.
16. СН РК 2.04-21-2004 Энергопотребление и тепловая защита
17. Львовский И. Б. Пособие 1.91 к СНиП 2.04.05-91 Расчет и распределение приточного воздуха – Москва, 1993
18. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан, 2015 – 648 с.
18. Основы организации охраны и безопасности труда в Республике

Казахстан / Сост. В.И. Скала, Н.В. Скала. Алматы, ТОО «Издательство ЛЕМ», 2015г. -340с.

19. М.К. Дюсебаев, А.С. Бегимбетова. Конспект лекций для магистрантов по специальности 6В0731-Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды – Алматы: АУЭС, 2008. – 35 с.

20. Санатова Т.С., Мананбаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Электробезопасность в электроустановках» в выпускных работах для специальности 050718 - Электроэнергетика. Бакалавриат - Алматы: АУЭС, 2009. - 24с.

21. Хакон Скистад (редактор), Элизабет Мундт, Питер Нильсен и др. Вытесняющая вентиляция в непроизводственных зданиях / Пер. с англ. М.: АВОК-ПРЕСС. 2009 г. – 104с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электрические машины и электротрибода

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.

(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Автоматизированной электротрибода
капитального аппарата

Выполнил (а) Шайрахметова А.М. ЭАТК-14-8
(Фамилия и инициалы студента) группа

специальность 5В071800 - электроэнергетика

Научный руководитель Цоба Ю.А. к.т.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Цоба « 23 » мая 2018 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

Жакупов А.А. к.э.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Жакупов « 22 » мая 20__ г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Мананбаева С.Э. старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Мананбаева « 18 » мая 2018 г.
(подпись)

нормоконтролер:

Цоба Ю.А. к.т.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Цоба « 23 » мая 2018 г.
(подпись)

Алматы 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Институт Электроэнергетики и электротехники
Специальность 5В071800 - электроэнергетика
Кафедра электрических машин и электропривода

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент Шайраметова Гия Маратовна
(фамилия, имя, отчество)

Тема работы Автоматизированный электропривод
намоточного аппарата

утверждена приказом ректора № 155 от «23» 10 20 17 г.

Срок сдачи законченной работы «29» мая 20 18 г.

Исходные данные, требуемые параметры результатов и исходные данные

- 1) Техническая документация конструкторской намот аппаратов
- 2) Техническая документация параметров намоточного аппарата и асинхронных двигателей
- 3) Основы технической документации и параметры преобразования частота для намоточных аппаратов

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание:

1. Регулирование намотки проволоки на НА
2. Управление электроприводом НА
3. Сравнительной анализ осн. параметров НА
4. Описание рвукатурического НА и его осн. пар-ра
5. Расчет мощности АД и выбор ПЧ
6. Математическая модель НА
7. Анализ условий труда в волюметрическом цехе и расчет системы вентиляции
8. Технический эскиз формата ПЧ-АД для НА

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Кинематическая схема насосной группы
2. Структурная схема системы автоматического регулирования (САУ) НА
3. Устройство системы с гидравлическим контролем
4. Проблотно-и флюидовой тензодатчика
5. Осциллограммы совместного пуска высоковольтного станка с насосной аппаратурой при нагрузках, соответствующих 50%, 90%
6. Устройство и принцип действия релейно-автоматического НА
7. Устройство непрерывной насосной намотки катушки проволоки
8. Устройство свесного насосного аппарата
9. Насосной аппарат, вращающийся на подшипниках
10. Общий вид асинхронного двигателя АЧР80В4, 15 кВт
11. Таблицы ПЧ-АДУ 2-2 Е410-М, и его обмотки
12. Схема микропроцессора КР580ВМ80
13. График ПП катушки проволоки и прочее при работе устройства

Рекомендуемая основная литература

- Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. М.: 2004г.
- Каушан М.М. Электрический привод. 2005г.
- Беспалов Б.В., Пустельковский В.М. Обеспечение сверхинтенсивной противоматериальной и гидравлической намотки на высоковольтном процессе стабилизации усилителей в гидравлическом высоковольтном станке. 1969г.

Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Спец. часть	Цыба Ю.А	25.05.18	
БЖД	Маманбаева С.С	24.04-18.05	
Эконом. часть	Макунов А.А	22.05.18	

