

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**
Институт «Политехнический», факультет «Энергетический»
Кафедра «Автоматизированный электропривод»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, должность

_____ //

“ _____ ” _____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ /А.Н. Шишков/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Установка контроля геометрии полуцилиндров трубы стана 1020-1220 ПАО ЧТПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ НАУЧНАЯ РАБОТА (ДИССЕРТАЦИЯ)

ЮУрГУ-13.04.02.2017.226. ВКР

Руководитель: профессор, д.т.н.

_____ /М.А. Григорьев/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Автор

студент группы _____ П-286 _____

_____ /А.А. Жиленков/

“ _____ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:

Доцент, к.т.н.

_____ /Т.А. Функ/

“ _____ ” _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Жиленков А.А. Установка контроля геометрии полуцилиндров трубы стана 1020-1220 ОАО ЧТПЗ: Выпускная квалификационная работа. - Челябинск: ЮУрГУ, 2017, листов – 93, рисунков – 25, таблиц - 33, библиография литературы – 14 наименований.

В настоящем дипломном проекте разрабатывается установка контроля геометрии полуцилиндров трубы стана 1020-1220 ОАО ЧТПЗ.

В проекте проводится синтез силовых цепей и системы регулирования. Разработаны кинематическая и функциональная схемы установки. Разработаны алгоритмы программируемого логического контроллера и промышленного компьютера.

В экономической части проекта произведен расчет затрат на проектирование и монтаж установки, а также срок окупаемости введения проекта, широко рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности, связанные с функционированием установки.

					ЮУрГУ-13.04.02.2017.226. ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Жиленков А.А				Установка контроля геометрии полуцилиндров трубы стана 1020-1220 ОАО ЧТПЗ	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Григорьев М.А						4	
Реценз					ЮУрГУ Кафедра «АЭП»			
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Описание технологического процесса	9
1.1 Технология трубнрокатного производства в цехе №6 ОАО «ЧТПЗ»	9
1.2 Технология изготовления труб на стане 1020 – 1220	10
1.3 Установка контроля геометрии полуцилиндров трубы стана 1020-1220	14
1.3.1 Построение сечения исследуемого полуцилиндра	11
1.3.2 Расчет периметра и разъёма полуцилиндра	16
1.4 Технические требования, предъявляемые к установке	16
1.4.1 Технические требования, предъявляемые в программному обеспечению	16
1.4.2 Технологические требования к системе электропривода установки	17
1.5 Технические данные установки для контроля геометрии полуцилиндров	18
2 Синтез силовой части системы	20
2.1 Предварительный выбор электродвигателя	20
2.1.1 Расчет моментов статических сопротивлений и предварительный расчет мощности электродвигателя	20
2.1.2 Выбор рода тока и типа электропривода	28
2.1.3 Выбор типа двигателя для механизмов передвижения тележки и передвижения датчика	28
2.1.4 Выбор редуктора для механизмов передвижения тележки и передвижения датчика	30

2.2 Расчет приведенных статических моментов, моментов инерции	33
2.3 Предварительная проверка двигателей по нагреву	35
2.4 Выбор преобразователей частоты	39
2.5 Расчет статических характеристик	40
2.5.1 Расчёт естественной характеристики двигателя	40
2.5.2 Расчёт координат электропривода, обеспечивающих работу в заданных точках	44
2.6 Расчёт координат, обеспечивающих пуск и торможение двигателя	48
2.7 Расчёт переходных процессов электропривода	49
2.8 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя и преобразователя	55
3 Синтез системы регулирования электропривода	61
3.1 Выбор структуры управления электроприводом	61
3.2 Определение параметров силового оборудования	62
3.3 Синтез регуляторов	63
3.3.1 Настройка контура регулирования момента	63
3.3.2 Настройка контура регулирования скорости	64
4 Алгоритмы контроля геометрии полуцилиндров	66
4.1 Выбор датчиков технологической информации	66
4.1.1 Выбор датчика расстояния	66
4.1.2 Выбор абсолютного энкодера	68
4.2 Выбор программируемого логического контроллера	69
4.2.1 Выбор центрального процессора программируемого контроллера	69

4.2.2	Выбор модулей программируемого логического контроллера	71
4.3	Выбор среды разработки прикладного программного обеспечения визуализации процесса	72
4.4	Выбор компьютера для установки контроля геометрии полуцилиндров	74
5	Техническая реализация системы	75
5.1	Функциональная схема установки контроля полуцилиндров	75
5.2	Алгоритм программы логического контроллера	77
5.2.1	Алгоритм программы «Сечение»	79
5.3	Алгоритм программы визуализации	82
6	Экономическая часть	84
6.1	Введение в экономическую часть	84
6.2	Расчет затрат на реализацию разработки	84
6.3	Расчет прироста прибыли предприятия от усовершенствования качества производимой продукции	87
	Заключение	90
	Список литературы	92

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время особенно актуально усовершенствование производственного оборудования. От степени модернизации производственных мощностей зависят затраты времени на производство единицы продукции, время полезной работы станков, рентабельность использования оборудования, и самое важное, качество производимой продукции. В условиях нормальной рыночной конкуренции на рынке металлургической продукции качество выпускаемой продукции является ключевым фактором успеха предприятия в борьбе за потребителя, в расширении завоеванных рынков. Отсутствие определенных характеристик, удовлетворяющих, по мнению потребителей, определенным параметрам качества, как правило, становится причиной потери существующих покупателей и отсутствия возможностей завоевания новых.

Темой данного дипломного проекта является проектирование установки контроля геометрии полуцилиндров за прессом окончательной формовки П-753 стана 1020-1220. Контролируемые геометрические параметры выводятся на экран монитора оператора и сохраняются в памяти промышленного компьютера.

В результате внедрения установки, посредством анализа величины разбега геометрической формы, периметра и разбега сечений по длине полуцилиндра, и корректировки параметров прессы достигается форма профиля близкая к эталонной, с допуском 1 мм. Устранение недостатков и обеспечение трубопроводов необходимыми характеристиками качества, как показали исследования, проведенные маркетинговыми и сбытовыми службами, предоставит возможность освоения новых рынков в странах

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ				

ближнего и дальнего зарубежья, следовательно, увеличения объемов отгрузки, выручки и, соответственно, прибыли предприятия.

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1 Технология трубопрокатного производства в цехе №6 ОАО «ЧТПЗ»

В цехе № 6 Челябинского трубопрокатного завода, изготавливаются прямошовные электросварные трубы методом прессовой формовки и автоматической сварки под слоем флюса.

Трубы диаметром 530, 720, 820 мм изготавливаются с одним швом, а трубы диаметром 1020 и 1220 мм с двумя швами. Трубы изготавливаются длиной 10,5 - 11, 6 метра с толщиной стенки от 7 до 15,5 мм.

Трубы общего назначения выпускаются по ГОСТ, газонефтепроводные трубы и трубы специального назначения выпускаются по техническим условиям, в которых указываются специальные требования, характерные для эксплуатации этих труб.

Металлической заготовкой для производства электросварных прямошовных труб является листовая металл (штрипс), получаемый с металлургических комбинатов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Северсталь», ОАО «НОСТА» и ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат».

Листовой штрипс для производства труб большого диаметра на металлургических комбинатах подвергается 100% ультразвуковому контролю.

В 6-м цехе также располагается участок по нанесению антикоррозионного покрытия на нефтегазопроводные трубы.

Трубы электросварные большого диаметра используются для:

- газопроводов низкого давления;
- магистральных нефтегазопроводов;

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

- трубопроводов повышенной коррозионной стойкости с увеличенным ресурсом эксплуатации;
- нефтегазопроводов в районах Крайнего Севера;
- водоводов и тепловых сетей.

В цехе по производству труб большого диаметра существует две технологические линии: на одной производят трубы диаметром до 820 мм (стан 530 - 820), на другой трубы диаметром 1020 - 1220 мм (стан 1220). На стане 530 - 820 трубы изготавливают из одного листа, на стане 1220 из двух листов.

1.2 Технология изготовления труб на стане 1020 – 1220

Технологический процесс производства труб диаметром 1020-1220 состоит из нескольких производственных операций.

В производстве электросварных прямошовных труб используется листовая заготовка (штрипс). Листовой штрипс поставляется на предприятие в соответствии с техническими условиями или стандартами. Листы поставляются на предприятие обрезанными под прямым углом. Косина реза и серповидность не должны выводить размеры листа за минимально допустимые при производстве труб размеры. Листы складироваться в штабеля: по маркам стали, ширине, толщине стенки.

Размеры листа – $(A * L * H)$,

где A – ширина листа (определяет диаметр трубы, так как это длина окружности будущей трубы);

L – длина (не более 12 метров);

H – толщина стенки.

Входной контроль осуществляют:

- на соответствие химического состава и механических свойств штрипса требованиям, указанным в ТУ и ГОСТах на штрипс и сертификатах качества на

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

листовой штрипе.

После того, как внешняя приемка проверила качественные параметры и геометрические размеры листового штрипеа, дается разрешение на подачу листа в производство. Подача листа в девятивалковую правильную машину происходит по роликам, где происходит правка листа.

После правки лист поступает на 18-ти клетевой кромкострогальный станок МС - 707МУ, где происходит строжка кромок листа по длине и снятие фаски на кромках (подготовка кромок листа для сварки). На кромкострогальный станок устанавливают 120 резцов, по 60 с каждой стороны, расположенных попарно, в том числе 112 прямых и 8 угловых.

Далее лист поступает на замер ширины. После этого лист поступает на кромкогибочный стан и пресс подгибки кромок П - 960. Подгибание кромок листа производится перед предварительной формовкой. Подгибку кромок осуществляют на кромкогибочном стане, состоящем из задающей и трех гибочных клеток. Задающая клетка служит для задачи сцентрированного листа в гибочные клетки, центровка листа осуществляется центрирующими роликами перед задающей клеткой. Гибочные клетки состоят из трех пар валков с наборными гибочными дисками, производящими последовательную подгибку кромок листа. Скорость подгибки кромок должна быть в пределах 24 - 36 м/мин и обеспечивается технической характеристикой стана.

Предварительная формовка труб производится для придания исходной заготовке U - образной формы. Предварительная формовка происходит на прессе предварительной формовки (П - 960). На прессе предварительной формовки листу придают U - образную форму. Прессе предварительной формовки состоит из двух облокированных прессов, траверсы со штампами и роликов гибки, расположенных вдоль траверсы по всей ее длине.

После предварительной формовки U - образная заготовка поступает на

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ					

пресс окончательной формовки (П - 753), где происходит окончательное придание будущей трубе правильного геометрического размера.

Сформованная заготовка должна отвечать следующим требованиям:

- превышение кромок в свободном состоянии заготовки должно быть не более 10 мм.

- местное искривление кромок заготовки должно быть не более 3 мм.

- продольные кромки заготовок не должны иметь уступов более 0,5 мм.

Эти параметры проверяются на соответствие требованиям на установке контроля геометрии полуцилиндров, о чем речь пойдет ниже (см. п.1.3).

Далее заготовка поступает с шестиниточного передвижного рольганга на входные рольганги перед сборочными устройствами. Производится сортировка заготовок для подбора полуцилиндров, используемых для сборки трубы. Не допускается сборка труб из полуцилиндров разных марок стали, разной толщины и длины. После установки заготовок в горизонтальной плоскости, их подают в раскрытое сборочное устройство, которое с помощью пневматических цилиндров закрывается и устанавливает заготовки перед задачей в стане наружной сварки в исходное положение, при котором кромки торцов трубы располагаются в вертикальной плоскости, а задние торцы совмещаются. Затем цепным заталкивателем полуцилиндры задают в стан для сварки первого наружного шва.

Основными операциями при сварки труб на стане 1020 - 1220 являются:

- сварка двух полуцилиндров в сборочном устройстве и задача их в стан наружной сварки;

- сварка первого наружного шва;

- сварка второго наружного шва;

- сварка первого внутреннего шва;

- удаление шлаковой корки и остатков флюса;

- сварка второго внутреннего шва;

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

- технологический контроль сварных швов труб.

Все трубы после очистки внутренней поверхности поступают на ремонтные площадки для контроля качества трубы и сварного шва. Контроль производится внешним осмотром для исправления дефектов основного металла и сварных швов. В журнале ремонтной площадки описывается каждая труба с указанием всех технических параметров.

Далее труба поступает на установку воздушно-плазменной резки, где производится отрезка концов труб струей плазмы, образующейся в результате горения потока плазмообразующей газо-воздушной смеси в электрической дуге постоянного тока.

Далее труба поступает на фрезерный станок для снятия усиления внутреннего сварного валика шва. Эта операция необходима для того, чтобы при последующем гидротестировании пуансоны пресса-расширителя плотно соприкасались со стенкой трубы. На снятом усилении шва не допускается наличие заусенцев, зарезов и других дефектов. При необходимости производят зачистку шва шлифовальной машиной.

Далее труба поступает на экспандирование и гидротестирование на прессе-расширителе. В процессе обработки труб на прессе-расширителе (типа П - 965 и ПО - 143) осуществляется калибровка концов труб, правка труб раздачей и их гидротестирование.

После гидротестирований и экспандирования труба поступает на автоматизированную ультразвуковую установку для проведения неразрушающего контроля сварного шва.

После ультразвукового контроля труба поступает на трубонодрезной станок (типа КЖ - 8802 или КЖ 9116Ф1) для обработки торцов труб и снятия фаски. Эта операция производится при неподвижной трубе и вращающихся резцах. Также проводятся механические испытания труб:

- на растяжение;

- на ударный изгиб.
- сварного шва на ударный изгиб.

1.3 Установка контроля геометрии полуцилиндров трубы стана 1020-1220

Установка контроля геометрии полуцилиндров за прессом окончательной формовки П-753 (стан «1020-1220») (кинематическая схема представлена на рисунке 1.1) предназначена для повышения качества производимых труб диаметром 1020 и 1220 мм, посредством корректировки параметров прессы.

С помощью установки измеряются геометрические параметры полуцилиндра:

- геометрическая форма полуцилиндра (построение сечения полуцилиндра на экране монитора);
- внутренний периметр полуцилиндра;
- величина разъема;
- разбег разъема по длине полуцилиндра.

Полученные данные анализируются, после чего определяются требуемые параметры прессы.

1.3.1 Построение сечения исследуемого полуцилиндра

Построение текущего сечения исследуемого полуцилиндра должно проводиться в реальном времени и отображаться на экране монитора до начала снятия точек следующего сечения. В случае несимметричности относительно горизонтали кромок полуцилиндра по окончании снятия точек на отдельном рисунке должно быть построено развернутое сечение (относительно оси симметрии) для указания поля допуска.

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

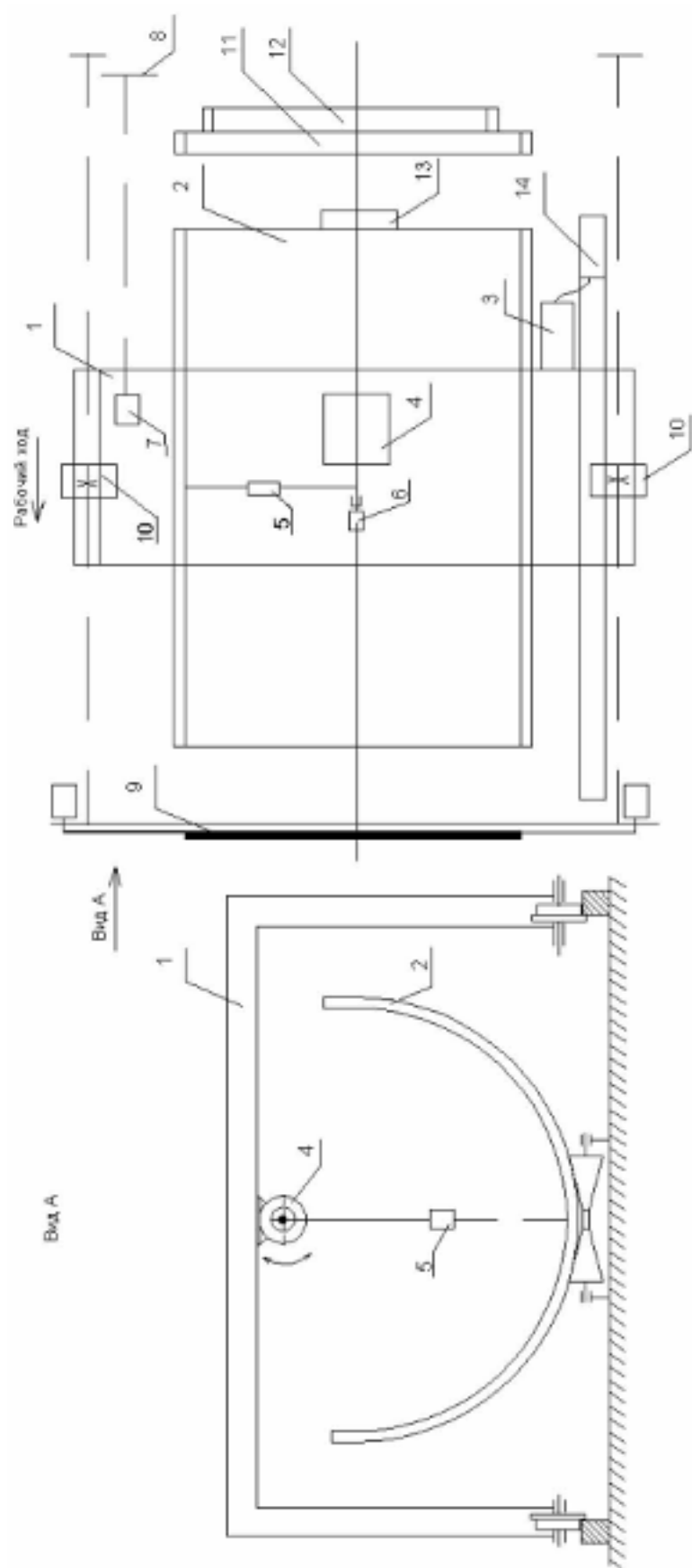


Рисунок 1.1 – Кинематическая схема установки для контроля геометрии полуцилиндра. 1 – тележка; 2 – полуцилиндр; 3 – двигатель тележки; 4 – двигатель датчика; 5 – датчик; 6 – датчик измерения угла; 7 – устройство очистки от окалины; 8 – механизм стопорения; 9 – образец калибровки “1220°”; 10 – образец калибровки “1020°”; 11 – упор

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

Лист
15

1.3.2 Расчет периметра и разъема полуцилиндра

Расчет периметра полуцилиндра должен проводиться во время снятия точек сечения и выдаваться на экран монитора по окончании снятия точек. Расчет разъема проводится при снятии последней точки полуцилиндра. Погрешность измерения периметра и разъема полуцилиндра: ± 1 мм.

1.4 Технические требования, предъявляемые к установке

С позиции технической реализации и эксплуатации к установке предъявляются следующие требования:

- применение технических средств, не требующих значительных затрат на обучение персонала;
- возможность и простота изменения количества измеряемых сечений на полуцилиндр;
- безопасность эксплуатации установки;
- защита системы электропривода от аварийных режимов;

1.4.1 Технические требования, предъявляемые к программному обеспечению

К ЭВМ и программному обеспечению предъявляются следующие требования:

- наибольшее быстродействие технических средств для обеспечения заданной точности;
- простота в управлении прикладным программным обеспечением;
- прием и обработка данных программного обеспечения должны происходить со скоростью, обеспечивающей заданную точность;

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ				

- программное обеспечение должно обеспечивать архивацию данных.

1.4.2 Технологические требования к системе электропривода установки

Система электропривода включает: электропривод передвижения тележки и электропривод передвижения датчика.

При проектировании систем электроприводов установки контроля полуцилиндров должны выполняться требования, обеспечивающие работу систем в нормальных режимах. Эти требования даны в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Требования к электроприводу тележки

Требования	Обозначение	Значение
1 Колебание напряжения сети	$\Delta \bar{U} = \Delta U_c / U_c$	$\pm 0,1$
2 Изменение статической нагрузки	$M_c = M_c / M_n$	2
3 Диапазон регулирования скорости вниз от номинальной	$D_1 = n_n / n_{мин}$	10
4 Диапазон регулирования скорости вверх от номинальной	$D_2 = n_{макс} / n_n$	2
5 Погрешность поддержания скорости	$\overline{\Delta n_c} = \Delta n_c / n_{макс}$	0,1
6 Величина токоограничения при упоре	$\mu = I_{макс} / I_n$	2
7 Ускорение при пуске	$\lambda = M_{дин} / M_n$	1,5
8 Реверс электропривода	+	+

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

Лист

17

Таблица 1.2 – Требования к электроприводу датчика

Требования	Обозначение	Значение
1 Колебание напряжения сети	$\Delta \bar{U} = \Delta U_c / U_c$	$\pm 0,1$
2 Изменение статической нагрузки	$M_c = M_c / M_n$	1
3 Диапазон регулирования скорости вниз от номинальной	$D_1 = n_n / n_{\max}$	10
4 Диапазон регулирования скорости вверх от номинальной	$D_2 = n_{\max} / n_n$	2
5 Погрешность поддержания скорости	$\overline{\Delta n_c} = \Delta n_c / n_{\max}$	0,01
6 Величина токоограничения при упоре	$\mu = I_{\max} / I_n$	2
7 Ускорение при пуске	$\lambda = M_{\text{двиг}} / M_n$	1,5
8 Реверс электропривода	+	+

1.5 Технические данные установки для контроля геометрии полуцилиндров

После подачи рольгангом полуцилиндра (длина полуцилиндра $L_n = 12$ м) включается двигатель датчика, осуществляется перемещение датчика с установившейся скоростью $V_{рл}$. По окончании снятия сечения двигатель датчика затормаживается, Происходит запуск двигателя тележки осуществляется перемещение тележки с установившейся рабочей скоростью $V_{рт}$. Переместившись на длину L , двигатель затормаживается. Начинается снятие следующего сечения с установившейся скоростью $V_{рд}$. Так происходит снятие шести сечений, после чего включается двигатель для движения в обратную сторону с установившейся скоростью $V_{вт}$, тележка возвращается в исходное положение. Затем происходит подача следующего полуцилиндра. Технические данные тележки приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Технические данные механизма передвижения тележки

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Числовые значения
m	Масса тележки	кг	1000
D	Диаметр колеса	м	0,2
d_c	Диаметр ступицы	мм	50
μ	Коэффициент трения скольжения в подшипниках	-	0,02
f	Коэффициент трения качения подшипников	мм	0,5
L	Длина перемещения тележки между сечениями	м	2,4
$V_{рт}$	Скорость рабочего хода	м/с	0,6
$V_{вт}$	Скорость возвратного движения	м/с	0,8
a	Допустимое ускорение	м/с ²	0,4
$t_{р1}$	Суммарное время работы, не более	с	47

Таблица 1.4 – Технические данные механизма передвижения датчика

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Числовые значения
m	Масса датчика	кг	0,25
$m_{ш}$	Масса штанги	кг	0,25
$l_{ш}$	Длина штанги	мм	220
d_c	Диаметр ступицы	мм	50
l	Линейное перемещение датчика	мм	1884
$V_{рт}$	Скорость рабочего хода	м/с	0,47
$V_{вт}$	Скорость возвратного движения	м/с	0,47
a	Допустимое ускорение	м/с ²	0,94
$t_{р2}$	Суммарное время работы, не более	с	33

2 СИНТЕЗ СИЛОВОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ

2.1 Предварительный выбор электродвигателя

2.1.1 Расчёт моментов статических сопротивлений и предварительный расчёт мощности электродвигателя

Установка состоит из двух механизмов: передвижения тележки и передвижения датчика. На рисунках 2.1 и 2.2 приведены кинематические схемы этих механизмов.

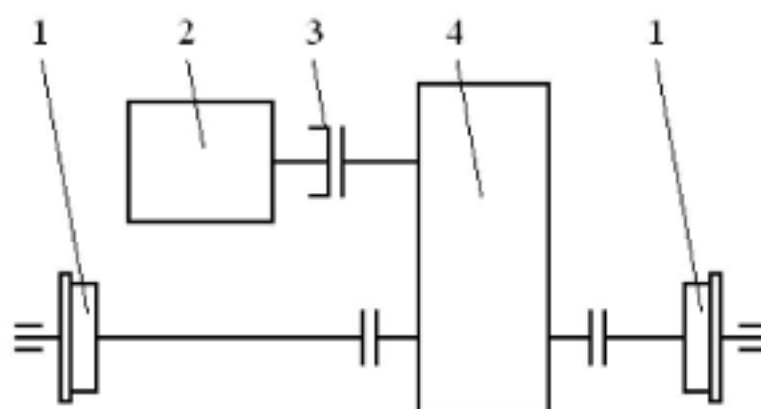


Рисунок 2.1 – Кинематическая схема механизма передвижения тележки: 1 – ходовые колеса; 2 – электродвигатель; 3 – тормозной шкив; 4 – редуктор

Поскольку на данном этапе проектирования неизвестна полная нагрузка двигателя (так как на основе исходных данных достаточно близко могут быть рассчитаны лишь статические нагрузки, а динамические зависящие в значительной степени от параметров двигателя ещё не известны), предварительный расчет мощности двигателя производится приближенно.

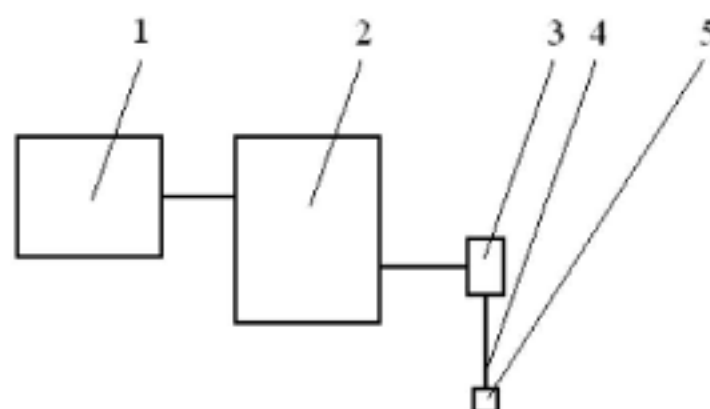


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема механизма передвижения датчика: 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – соединительная муфта; 4 – штанга; 5 – лазерный датчик

Предварительный расчет мощности двигателя проведем, используя метод среднеквадратичного момента.

При задании допустимого ускорения исполнительного органа рабочей машины представляется возможным на стадии предварительного расчета мощности двигателя определить не только статические нагрузки, но и часть динамических нагрузок электропривода, обусловленных изменениями скорости движущихся масс рабочей машины.

На основе заданных путей перемещения α , установившейся скорости v_y и допустимого ускорения $a_{\text{доп}}$ рассчитаем время пуска, установившегося режима и торможения по следующим выражениям [1]:

$$t_n = t_r = \frac{v_y}{a}; \quad (2.1)$$

$$\alpha_n = \alpha_r = \frac{v_y^2}{2 \cdot a}; \quad (2.2)$$

$$t_y = \frac{\alpha - (\alpha_n + \alpha_r)}{v_y}. \quad (2.3)$$

Для двигателя тележки

$$t_{m1} = t_{a1} = \frac{0,6}{0,4} = 1,5 \text{ с};$$

$$\alpha_{m1} = \alpha_{a1} = \frac{0,6^2}{2 \cdot 0,4} = 0,45 \text{ м};$$

$$t_{ср1} = \frac{2,4 - (0,45 + 0,45)}{0,6} = 2,5 \text{ с};$$

$$t_{m2} = t_{a2} = \frac{0,8}{0,4} = 2 \text{ с};$$

$$\alpha_{m2} = \alpha_{a2} = \frac{0,8^2}{2 \cdot 0,4} = 0,8 \text{ м};$$

$$t_{ср2} = \frac{12 - (0,8 + 0,8)}{0,8} = 13 \text{ с}.$$

Для двигателя датчика в заданный путь не включаются время пуска и торможения.

$$t_{a3} = t_{a3} = \frac{0,47}{0,94} = 0,5 \text{ с};$$

$$\alpha_{a3} = \alpha_{a3} = \frac{0,47^2}{2 \cdot 0,94} = 0,1175 \text{ м};$$

$$t_{a3} = \frac{1,884}{0,47} = 4 \text{ с}.$$

Следующим этапом является расчёт статических моментов на валу рабочего органа.

Статическое сопротивление движению тележки создаётся силами трения скольжения в подшипниках и силами трения качения колес по рельсам, тогда момент статический.

$$M_{\text{стат}} = k_p \cdot (M_{\text{св}} + M_{\text{ср}}) = k_p \cdot \left(\frac{m \cdot d_m \cdot \mu_r \cdot g}{2} + m \cdot f \cdot g \right). \quad (2.4)$$

где $k_p = 1,3 \dots 1,4$ – коэффициент, учитывающий трение реборд колес о рельсы, возникающее вследствие возможного перекоса тележки;

m – масса движущегося тела;

d_w – диаметр оси;

μ_r – коэффициент трения скольжения в подшипниках;

f – коэффициент трения качения.

Подставляя числовые значения в (2.4), получим:

$$M_{\text{рост}} = 1,4 \cdot \left(\frac{1000 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 \cdot 9,8}{2} + 1000 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \right) = 13,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статическое сопротивление движению датчика создаётся силами трения скольжения в подшипниках и силой тяжести. Тогда

$$\begin{aligned} M_{\text{рост}}(\alpha) &= \frac{(m_a + m_w) \cdot d_w \cdot \mu_r \cdot g}{2} + m_a \cdot g \cdot l \cdot \cos \alpha + m_w \cdot g \cdot 0,5 \cdot l \cdot \cos \alpha = \\ &= \frac{0,5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 \cdot 9,8}{2} + 0,25 \cdot 9,8 \cdot 0,22 \cdot \cos \alpha + 0,25 \cdot 9,8 \cdot 0,11 \cdot \cos \alpha = 0,81 \cdot \cos \alpha. \end{aligned}$$

Зависимость момента статического от угла поворота штанги (α) представлена на рисунке 2.3.

Эквивалентный (действующий) момент

$$M_{\text{рост}} = \frac{M_{\text{рост2max}}}{\sqrt{2}} = \frac{0,81}{\sqrt{2}} = 0,57 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для определения динамических моментов рабочей машины рассчитаем моменты инерции рабочего органа:

$$J_{\text{р}} = J_1 + J_2 + \dots + (m_1 + m_2 + \dots) \frac{D^2}{4}, \quad (2.5)$$

где J_1, J_2, \dots – моменты инерции вращающихся элементов рабочей машины;

m_1, m_2, \dots – масса поступательно движущихся частей.

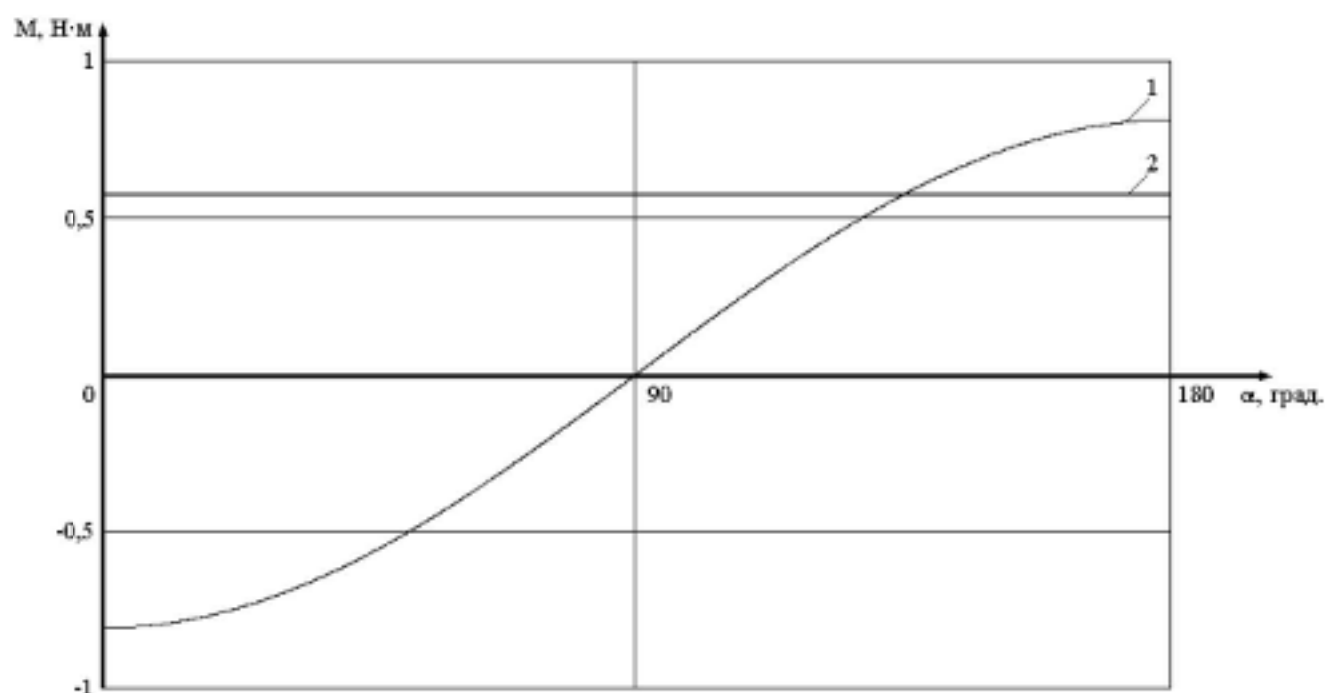


Рисунок 2.3 – Момент статический датчика: 1 – мгновенный, 2 – эквивалентный.

Тогда, момент инерции тележки:

$$J_{\text{пол}} = 1000 \cdot \frac{0,2^2}{4} = 10 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

момент рабочего органа состоящего из датчика и штанги:

$$J_{\text{ро2}} = \frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot 0,22^2 + 0,25 \cdot 0,22^2 = 16,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При заданной величине допустимого ускорения a определяются динамические моменты [1]

$$M_{\text{родин}} = J_{\text{ро}} \cdot \frac{2 \cdot a}{D}. \quad (2.6)$$

Найдем динамические моменты, подставляя числовые значения в формулу (2.6)

$$M_{\text{подв}} = 10 \cdot \frac{2 \cdot 0,4}{0,2} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{прив}} = 16,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,94}{220 \cdot 10^{-3}} = 0,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полный момент рабочей машины:

$$M_{\text{пол}} = M_{\text{прив}} + M_{\text{подв}}; \quad (2.7)$$

$$M_{\text{пол}} = 13,7 + 40 = 53,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Нагрузочные диаграммы моментов рабочей машины для каждого режима работы построены на рисунке 2.4.

На основании построенной нагрузочной диаграммы момента рабочей машины рассчитаем среднеквадратичное значение момента:

$$M_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m M_k^2 \cdot t_k}{\sum_{k=1}^m t_k}}, \quad (2.8)$$

где M_k – момент на k -ом участке;

t_k – длительность k -го участка.

Подставляя числовые значения, получим:

$$M_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{5 \cdot (53,7^2 \cdot 1,5 + 13,7^2 \cdot 2,5 + 26,3^2 \cdot 1,5) + 53,7^2 \cdot 2 + 13,7^2 \cdot 13 + 26,3^2 \cdot 2}{44,5}} = 29,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{6 \cdot (0,64^2 \cdot 0,5 + 0,57^2 \cdot 4 + 0,5^2 \cdot 0,5)}{30}} = 0,57 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

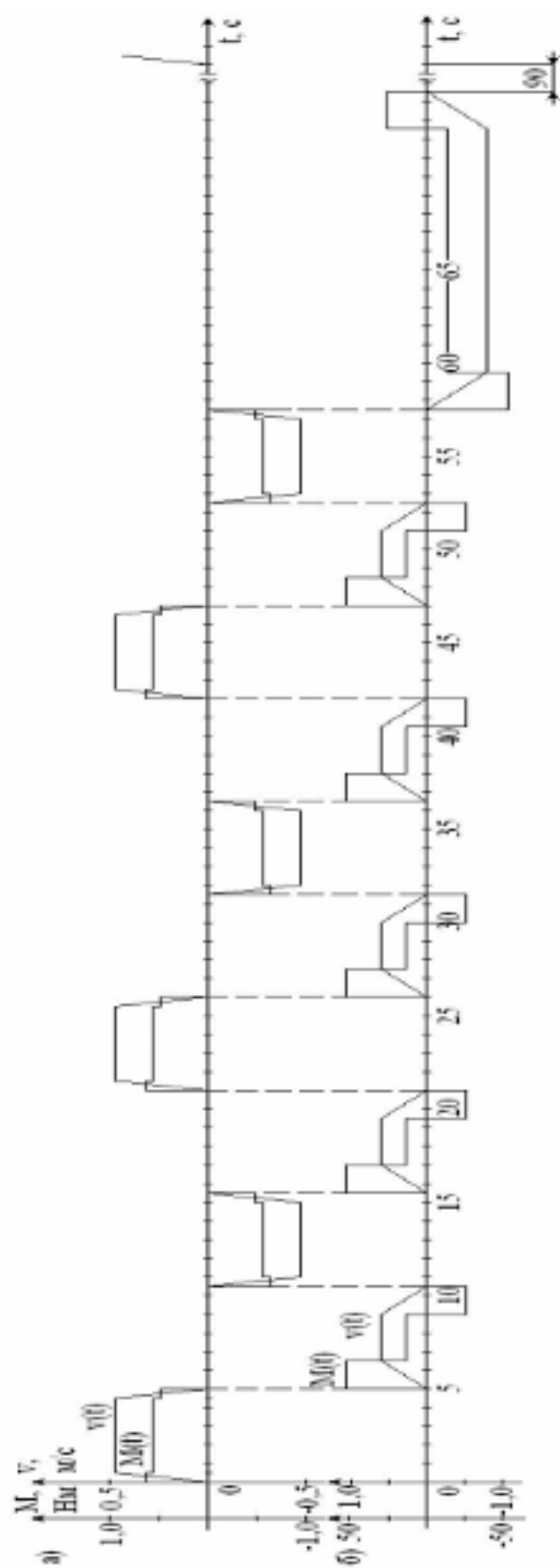


Рисунок 2.4 – Нагрузочные диаграммы скорости и момента: а) механизм передвижения датчика;
б) механизм передвижения тележки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

При этом мощность двигателя может быть определена по соотношению:

$$P_{дв} = k_1 \cdot M_{срвз} \cdot \frac{2 \cdot v_0}{D} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{ф}}{ПВ_{кат}}}, \quad (2.9)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки, обусловленные вращающимися элементами электропривода, а также потери в редукторе ($k_1 = 1,3 \dots 1,5$);

v_0 – скорость в порожнем (возвратном) режиме, м/с;

$ПВ_{ф}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения проектируемого электропривода;

$ПВ_{кат}$ – ближайшее к $ПВ_{ф}$ каталожное значение относительной продолжительности включения для электродвигателей выбранной серии.

Фактическое значение относительной продолжительности включения рассчитывается по длительности времени работы на всех участках движения и заданному времени цикла:

$$t_u = 44,5 + 30 + 90 = 164,5 \text{ с};$$

$$ПВ_{ф} = \frac{1}{t_u} \sum_{k=1}^m t_k; \quad (2.10)$$

$$ПВ_{ф1} = \frac{44,5}{164,5} = 0,27,$$

$$ПВ_{ф2} = \frac{30}{164,5} = 0,18.$$

Тогда мощность двигателей:

$$P_{дв1} = 1,5 \cdot 29,5 \cdot \frac{2 \cdot 0,8}{0,2} \cdot \sqrt{\frac{0,27}{0,25}} = 368 \text{ Вт},$$

$$P_{дв2} = 1,5 \cdot 0,57 \cdot \frac{0,47}{0,22} \cdot \sqrt{\frac{0,18}{0,15}} = 2 \text{ Вт}.$$

2.1.2 Выбор рода тока и типа электропривода

В данной установке для тележки возможно применение системы электропривода постоянного тока (тиристорный преобразователь – двигатель), и переменного тока (преобразователь частоты – асинхронный двигатель). Заданную точность вращения датчика может обеспечить сервопривод.

Обслуживание электродвигателя переменного тока требует меньших затрат, в виду отсутствия коллектора и щеточно-контактного узла. Также, электродвигатели переменного тока имеют меньшую стоимость, чем электродвигатели постоянного тока. Так как электрические машины переменного тока имеют более простую конструкцию и технологию изготовления.

Механизм передвижения тележки установки относится к механизмам с тяжелыми условиями работы. В таких механизмах более эффективным оказывается применение электрических машин переменного тока, вследствие их бесконтактного исполнения. Поэтому для привода тележки выберем асинхронный короткозамкнутый двигатель.

Для привода датчика выберем серводвигатель переменного тока.

2.1.3 Выбор типа двигателя для механизмов передвижения тележки и передвижения датчика

По каталогу [3] выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 5A80MB8, его мощность при ПВ=25% равна 0,9 кВт. Каталожные данные двигателя приведены в таблице 2.1.

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Таблица 2.1 – Каталожные данные электродвигателя 5A80MB8

Обозначение	Наименование параметра	Размерность	Числовое значение
$U_{\text{н}}$	Номинальное напряжение статора	В	380
$I_{\text{н}}$	Номинальный ток статора	А	2,2
$I_{\text{п}}$	Пусковой ток статора	А	8,4
$P_{\text{н}}$	Номинальная мощность на валу	кВт	0,55
$n_{\text{н}}$	Номинальная частота вращения	об/мин	700
$M_{\text{н}}$	Номинальный вращающий момент	Н·м	7,5
M_{max}	Максимальный вращающий момент	Н·м	18
$J_{\text{дв}}$	Момент инерции	кг·м ²	0,0047
$p_{\text{н}}$	Число пар полюсов	-	4
η	Коэффициент полезного действия	%	60
$\cos\varphi$	Коэффициент мощности	-	0,62

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{n_{\text{н}}}{9,55}; \quad (2.11)$$

$$\omega_{\text{н}} = \frac{700}{9,55} = 73,3 \text{ рад/с}$$

По каталогу [5] выбираем серводвигатель фирмы Control Techniques 75UMA200 Unimotor мощностью 0,23 кВт. Каталожные данные двигателя

приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Каталожные данные электродвигателя 75UMA200 Unimotor

Обозначение	Наименование параметра	Размерность	Числовое значение
$U_{1н}$	Номинальное напряжение статора	В	380
$I_{1н}$	Номинальный ток статора	А	0,5
$P_{1н}$	Номинальная мощность на валу	кВт	0,23
$n_{1н}$	Номинальная частота вращения	об/мин	2000
$M_{1н}$	Номинальный момент, при работе электропривода на упор	Н·м	1,1
$M_{1макс}$	Максимальный вращающий момент	Н·м	3,6
$J_{дв}$	Момент инерции	кг·м ²	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Номинальная скорость двигателя:

$$\omega_n = \frac{2000}{9,55} = 209,4 \text{ рад/с.}$$

2.1.4 Выбор редуктора для механизмов передвижения тележки и передвижения датчика

Определим передаточное число редуктора для механизма передвижения тележки:

$$j_p = \frac{\omega_n \cdot D}{2 \cdot v_0}; \quad (2.12)$$

$$j_p = \frac{73,3 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,8} = 9,2.$$

Мощность редуктора:

$$P_p = k_1 \cdot P_{\text{в}}, \quad (2.13)$$

где $k_1 = 1,5$ для тяжёлого режима работы редуктора;

$$P_p = 1,5 \cdot 550 = 825 \text{ Вт}.$$

По каталогу [4] выбираем редуктор 1Ц2У – 100, технические данные которого приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические данные редуктора 1Ц2У-100

Обозначение	Наименование параметра	Размерность	Числовые значения
$P_{\text{н}}$	Мощность на быстроходном валу редуктора	кВт	1,4
j_p	Передаточное число	-	8
$n_{\text{н}}$	Скорость вращения быстроходного вала	об/мин	750
$n_{\text{макс}}$	Максимальная скорость вращения быстроходного вала	об/мин	1800
$M_{\text{макс}}$	Максимальный момент на тихоходном валу редуктора	Н·м	70
-	Число ступеней	-	2
η_p	Коэффициент полезного действия	%	0,97

Требуемая скорость на выходном валу редуктора для механизма передвижения датчика:

$$\omega_{po} = \frac{v}{R}, \quad (2.14)$$

$$\omega_{po} = \frac{0,47}{0,22} = 2,14 \text{ рад/с.}$$

Определим передаточное число редуктора:

$$j_p = \frac{\omega_{п}}{\omega_{po}} = \frac{209,4}{2,14} = 98.$$

Редуктор устанавливается в корпус двигателя. По каталогу [5] выбираем редуктор типа SP060.

Таблица 2.4 – Технические данные редуктора SP060

Обозначение	Наименование параметра	Размерность	Числовые значения
j_p	Передаточное число	-	70
$n_{п}$	Скорость вращения быстроходного вала	об/мин	4800
$n_{макс}$	Максимальная скорость вращения быстроходного вала	об/мин	6000
$M_{макс}$	Максимальный момент на тихоходном валу редуктора	Н·м	32
-	Число ступеней	-	2
η_p	Коэффициент полезного действия	%	0,94

2.2 Расчет приведенных статических моментов, моментов инерции

Статические моменты рабочей машины, приведённые к валу двигателя, рассчитываются по формуле:

$$M_{pc} = \frac{M_{pc2}}{j_p}; \quad (2.15)$$

$$M_{pc1} = \frac{13,7}{8} = 1,71 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{pc2} = \frac{0,57}{70} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

С учетом потерь в редукторе статические моменты на валу рассчитывают в зависимости от режима работы электропривода.

Статический момент на валу в двигательном режиме:

$$M_{kc} = \frac{M_{pc}}{\eta_p}, \quad (2.16)$$

где η_p – КПД редуктора;

$$M_{kc1} = \frac{1,71}{0,97} = 1,76 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{kc2} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{0,94} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

При работе электропривода в тормозных режимах потери в редукторе вызывают уменьшение нагрузки двигателя, при этом моменты на валу определяют по формуле:

$$M_{kc} = M_{pc} \cdot \eta_p; \quad (2.17)$$

$$M_{kc1} = 1,71 \cdot 0,97 = 1,66 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\text{ин}} = 8 \cdot 10^3 \cdot 0,94 = 7,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарный приведённый к валу двигателя момент инерции системы может быть рассчитан по соотношению:

$$J = \delta \cdot J_{\text{д}} + J_{\text{пр}}, \quad (2.18)$$

где $J_{\text{д}}$ – момент инерции ротора двигателя;

δ – коэффициент, учитывающий момент инерции остальных элементов электропривода;

$J_{\text{пр}} = \frac{J_{\text{пр}}}{i_{\text{г}}^2}$ – приведённый к валу двигателя суммарный момент инерции движущихся исполнительных органов рабочей машины и связанных с ними движущихся масс;

$$J_1 = 1,5 \cdot 0,0047 + \frac{10}{8^2} = 0,163 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_2 = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 10^4 + \frac{16,1 \cdot 10^4}{70^2} = 1,82 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Установившаяся скорость двигателя:

$$\omega_c = \frac{2 \cdot v_{\text{г}}}{D} \cdot j_{\text{г}}; \quad (2.19)$$

$$\omega_d = \frac{2 \cdot 0,8}{0,2} \cdot 8 = 64 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{\text{сз}} = \omega_{\text{г}} \cdot j_{\text{г}} = 2,14 \cdot 70 = 149,8 \text{ рад/с}.$$

Момент динамический:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \frac{2 \cdot v_{\text{г}} \cdot j_{\text{г}}}{D}; \quad (2.20)$$

$$M_{\text{дин}} = 0,163 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 8}{0,2} = 5,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{инд}} = 1,82 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,94 \cdot 70}{0,22} = 0,054 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковые $M_{\text{п}}$ и тормозные $M_{\text{т}}$ моменты двигателя найдем из соотношений:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{инд}}; \quad (2.21)$$

$$|M_{\text{т}}| = |M_{\text{инд}}| - M_{\text{с}}; \quad (2.22)$$

$$M_{\text{п1}} = 1,76 + 5,2 = 7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{т1}} = 1,66 - 5,2 = -3,54 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{п0}} = 0,0085 + 0,054 = 0,063 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{т0}} = 0,0075 - 0,054 = -0,047 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

При питании от преобразователя с задатчиком интенсивности средний момент двигателя можно принять равным моменту допустимому по ускорению:

$$\text{при пуске} \quad M_{\text{оп}} = M_{\text{п}},$$

$$\text{при торможении} \quad M_{\text{оп}} = M_{\text{т}}.$$

2.3 Предварительная проверка двигателей по нагреву

Время переходного процесса:

$$t_1 = J \frac{\omega_{\text{с}}}{M_{\text{оп}} - M_{\text{с}}}; \quad (2.23)$$

- для привода тележки

$$t_1 = 0,163 \cdot \frac{64}{|7 - 1,76|} = 2 \text{ с};$$

- для привода датчика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ					Лист
										35

$$t_1 = 1,82 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{149,8}{[0,063 - 0,0085]} = 0,5 \text{ с.}$$

Угол поворота вала двигателя за время переходного процесса:

$$\alpha_1 = \frac{\omega_c \cdot t_1}{2}; \quad (2.24)$$

- для привода тележки

$$\alpha_1 = \frac{64 \cdot 2}{2} = 64 \text{ рад.}$$

- для привода тележки

$$\alpha_1 = \frac{149,8 \cdot 0,5}{2} = 37,45 \text{ рад.}$$

Время работы с установившейся скоростью (для привода тележки):

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{2 \cdot L \cdot j_p}{D}; \quad (2.25)$$

$$t_2 = \frac{\alpha_{\Sigma} - (\alpha_1 + \alpha_2)}{\omega_c}; \quad (2.26)$$

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 8}{0,2} = 960 \text{ рад.}$$

$$t_2 = \frac{960 - (64 + 64)}{64} = 13 \text{ с.}$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2.5 – для электропривода тележки и 2.6 – для электропривода датчика.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

Лист

36

Таблица 2.5 – Предварительный расчёт инерционных диаграмм для привода тележки

Участок движения	Движение между двумя сечениями			Движение в начальное положение		
	пуск	уст. режим	торможение	пуск	уст. режим	торможение
t, c	1,5	2,5	1,5	2	13	2
a, m	0,45	1,5	0,45	0,45	8,56	0,48
$v, m/c$	-	0,6	-	-	-0,8	-
$M_{расч}, H\cdot m$	13,7	13,7	13,7	-13,7	-13,7	-13,7
$J_{расч}, кг\cdot m^2$	10	10	10	10	10	10
$M_{раств}, H\cdot m$	-40	0	-40	-40	0	40
$M_{пр}, H\cdot m$	53,7	13,7	-26,3	-53,7	-13,7	26,3
$M_{гр}, H\cdot m$	1,71	1,71	1,71	-1,71	-1,71	-1,71
$M_c, H\cdot m$	1,76	1,76	1,66	-1,76	-1,76	-1,66
$\omega_c, рад/c$	-	48	-	-	64	-
$J_{пр}, кг\cdot m^2$	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156
$J, кг\cdot m^2$	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163	0,163
$M_{инт}, H\cdot m$	5,2	0	-5,2	-5,2	0	5,2
$M_{ср}, H\cdot m$	7	1,76	-3,54	-7	-1,76	3,54
$\alpha, рад$	48	96	48	64	832	64

Предварительная проверка по нагреву осуществляется по величине среднеквадратичного момента:

$$M_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \leq M_{\text{ср}}; \quad (2.27)$$

$$M_{\text{ср}} = 0,8 \cdot M_{\text{ср}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{ср}}}{ПВ_{\text{ср}}}}; \quad (2.28)$$

Таблица 2.6 – Предварительный расчёт инерционных диаграмм для привода датчика

	пуск	уст. режим	тормо- жение
t, c	0,5	4	0,5
α, m	0,1175	1,884	0,1175
$v, m/c$	-	0,47	-
$M_{рост}, H \cdot m$	0,57	0,57	0,57
$J_{рост}, 10^{-3} кг \cdot m^2$	16,1	16,1	16,1
$M_{ротт}, H \cdot m$	0,07	0	-0,07
$M_{рв}, H \cdot m$	0,64	0,57	0,5
$M_{рв}, 10^{-3} H \cdot m$	8	8	8
$M_{с}, 10^{-3} H \cdot m$	8,5	8,5	7,5
$\omega, рад/c$	-	149,8	-
$J, 10^{-1} кг \cdot m^2$	1,82	1,82	1,82
$M_{двиг}, H \cdot m$	0,054	0	-0,054
$M_{ср}, H \cdot m$	0,063	$0,85 \cdot 10^{-3}$	-0,047
$\alpha, рад$	37,45	600	37,45

$$M_{ср1} = \sqrt{\frac{5 \cdot (7^2 \cdot 1,5 + 1,76^2 \cdot 2,5 + 3,54^2 \cdot 1,5) + 7^2 \cdot 2 + 1,76^2 \cdot 13 + 3,54^2 \cdot 2}{44,5}} = 3,9 H \cdot m;$$

$$M_{двиг} = 0,8 \cdot 7,5 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{0,27}} = 5,8 H \cdot m;$$

Из соотношения моментов видно, что двигатель проходит по условиям нагрева: $3,9 H \cdot m < 5,8 H \cdot m$.

$$M_{ср2} = \sqrt{\frac{6 \cdot (0,063^2 \cdot 0,5 + (0,85 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4 + 0,047^2 \cdot 0,5)}{30}} = 0,025 H \cdot m;$$

$$M_{двиг} = 0,8 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{\frac{0,15}{0,18}} = 0,7 H \cdot m$$

2.4 Выбор преобразователей частоты

Выбор преобразователей частоты осуществляется на основе номинальных данных выбранного двигателя [1]

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{эд}};$$

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{эд}};$$

где $U_{\text{эд}}$, $I_{\text{эд}}$ – соответственно номинальные линейное напряжение и фазный ток статора двигателя;

$U_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$ – соответственно номинальные линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты.

По каталогу [] выбираем преобразователи частоты фирмы Control Techiques Unidrive SP 1401. Каталожные данные приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.7 – Каталожные данные преобразователя частоты Unidrive SP 1401

Обозначение	Наименование параметра	Размерность	Числовое значение
$U_{\text{ном}}$	Номинальное напряжение	В	400
$I_{\text{ном}}$	Номинальный ток нагрузки	А	2,8
$P_{\text{н}}$	Номинальная мощность	кВт	1,1
-	Предел максимальной перегрузки в течение 5 с	%	110
ΔP	Потери в преобразователе, не более	Вт	56

2.5 Расчет статических характеристик

2.5.1 Расчет естественной характеристики двигателя

Наиболее точной механической характеристикой асинхронного двигателя является каталожная зависимость $M(S)$, но так как каталожная зависимость отсутствует, рассчитаем её приближенными методами.

Определим скольжения номинальное s_n и критическое s_k для двигателя тележки

$$s_n = \frac{\omega_{\text{ам}} - \omega_n}{\omega_{\text{ам}}} = \frac{78,5 - 73,3}{78,5} = 0,067;$$

$$s_k = s_n \cdot \frac{\mu_k \pm \sqrt{\mu_k^2 - 1 + 2 \cdot a \cdot s_n \cdot (\mu_k - 1)}}{1 - 2 \cdot a \cdot s_n \cdot (\mu_k - 1)}$$

Здесь μ_k – перегрузочная способность асинхронного двигателя;

$$a = \frac{r_1}{r_2'}$$

Так как сопротивления обмоток неизвестны, примем $a=1$, тогда

$$s_k = 0,067 \cdot \frac{2,4 \pm \sqrt{2,4^2 - 1 + 2 \cdot 1 \cdot 0,067 \cdot (2,4 - 1)}}{1 - 2 \cdot 1 \cdot 0,067 \cdot (2,4 - 1)} = 0,304$$

Из энергетической диаграммы [10]

$$P_{\text{ам}} = P_1 - P_{\text{ст}} - P_{\text{м}} \quad (2.29)$$

где $P_{\text{ам}} = 550 \text{ Вт}$ – номинальная активная мощность;

$P_1 = 3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot I_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi_{1\text{н}}$ – активная мощность, потребляемая из сети;

$P_{\text{ст}} = 3 \cdot I_{1\text{н}}^2 \cdot r_1$ – электрические потери в обмотке статора при номинальном токе;

$P_{\text{ст}}$ – потери в стали статора.

Примем, приближенно, потери в стали статора равными нулю, тогда

$$r_1 = \frac{3 \cdot U_{1\text{н}} \cdot I_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi_{1\text{н}} - P_{\text{ст}}}{3 \cdot I_{1\text{н}}^2},$$

подставляя числовые значения, получим

$$r_1 \cong \frac{3 \cdot 220 \cdot 2,2 \cdot 0,62 - 550}{3 \cdot 2,2^2} = 27 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление ротора [1]

$$r_2' \cong \left(\frac{3 \cdot U_{1\text{н}}^2}{2 \cdot \omega_{\text{см}} \cdot M_k} - r_1 \right) \cdot s_k, \quad (2.30)$$

$$r_2' \cong \left(\frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 78,5 \cdot 18} - 27 \right) \cdot 0,304 = 9,7 \text{ Ом}.$$

Индуктивные сопротивления

$$x_1 = x_2' = \frac{x_k}{2} = \frac{1,4}{2} = 8,5 \text{ Ом}, \quad (2.31)$$

где

$$x_k = \sqrt{\frac{r_2'^2}{s_k^2} - r_1^2} = \sqrt{\frac{9,7^2}{0,304^2} - 27^2} = 17 \text{ Ом}.$$

После уточнения с помощью программы AlGer, окончательно примем $r_1 = 28,4 \text{ Ом}$, $x_1 = 4,9 \text{ Ом}$, $r_2' = 10,7 \text{ Ом}$, $x_2' = 5,2 \text{ Ом}$.

По T-образной схеме замещения (с использованием ЭВМ) на рисунках 2.5 и 2.6 построены статические механическая и электромеханические характеристики. Данные, введенные в программу расчета, представлены в таблице 2.8.

Для серводвигателя датчика каталожная естественная характеристика приведена на рисунке 2.7.

Таблица 2.8 – Данные, введенные в программу расчёта статической характеристики

Синхронная скорость	78,5	рад/с
Номинальный ток статора	2,2	А
Номинальный момент	7,5	Н·м
Активное сопротивление статора	28,4	Ом
Индуктивное сопротивление ротора	4,9	Ом
Приведенное активное сопротивление статора	10,7	Ом
Приведенное индуктивное сопротивление статора	5,2	Ом
Напряжение сети	220	В
Частота сети	50	Гц
Начальная скорость	-10	рад/с
Конечная скорость	80	рад/с
Шаг по скорости	0,1	рад/с

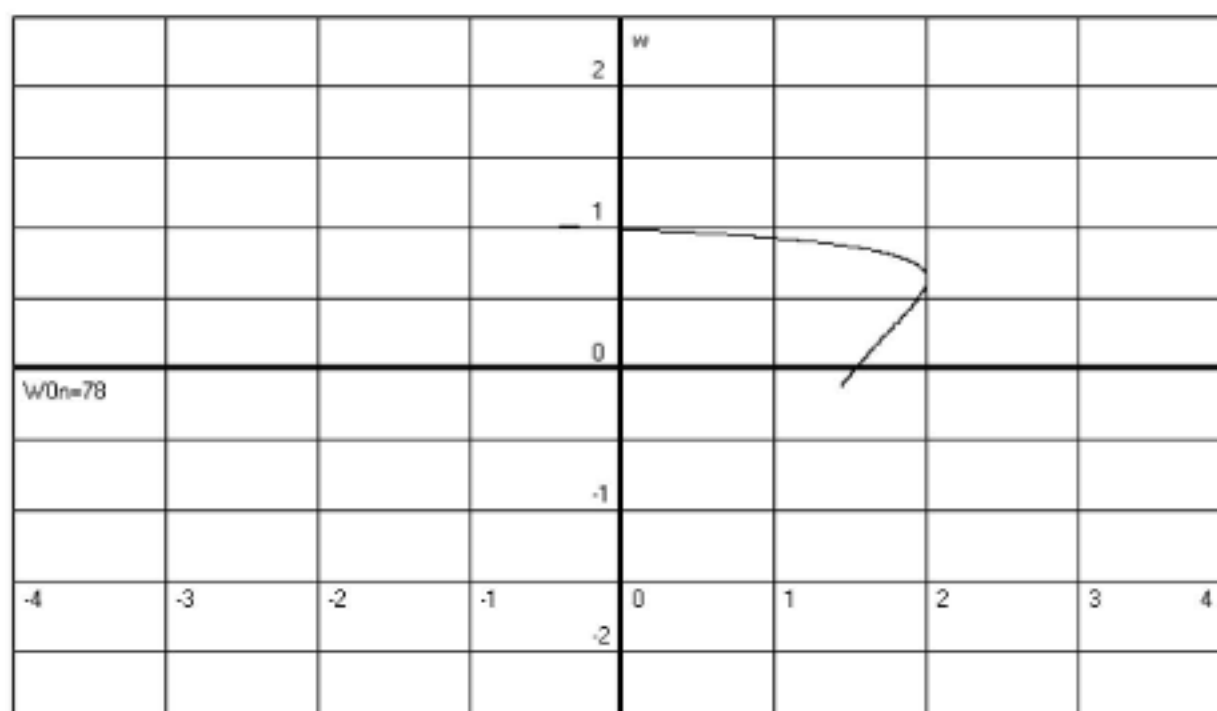


Рисунок 2.5 – Естественная механическая характеристика двигателя
5A80M38

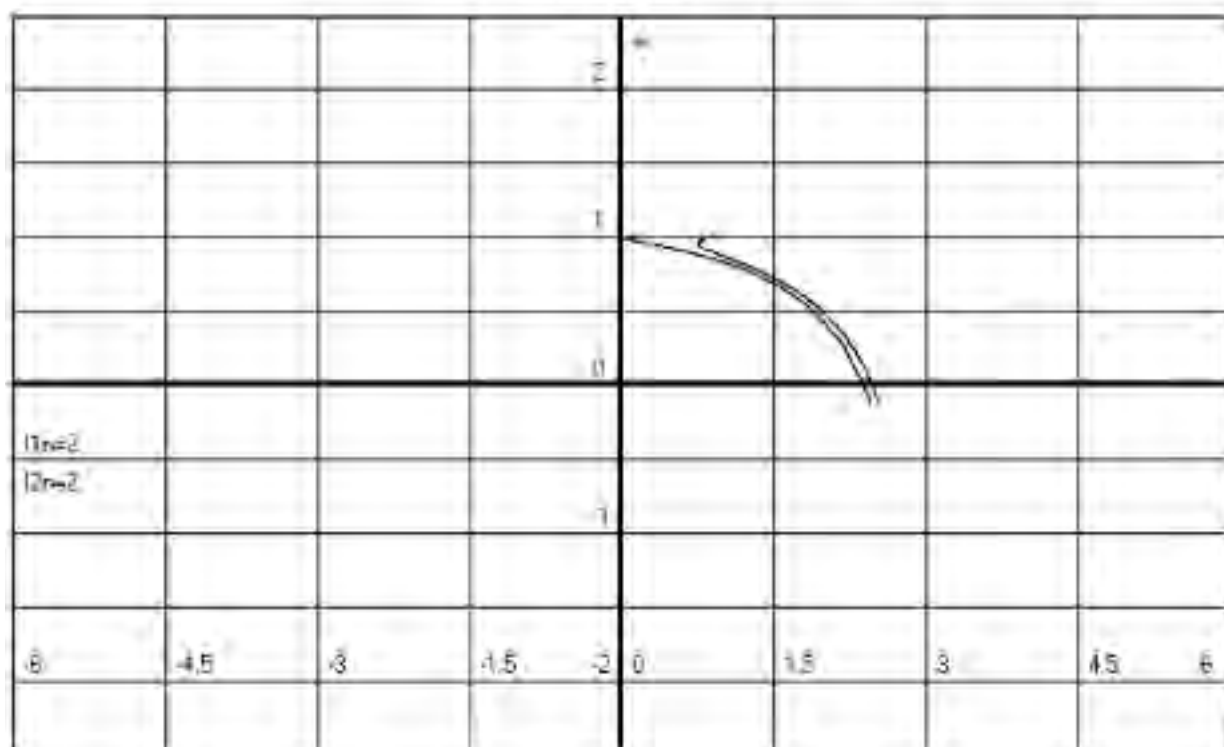


Рисунок 2.6 – Естественная электромеханическая характеристика
двигателя 5A80M38

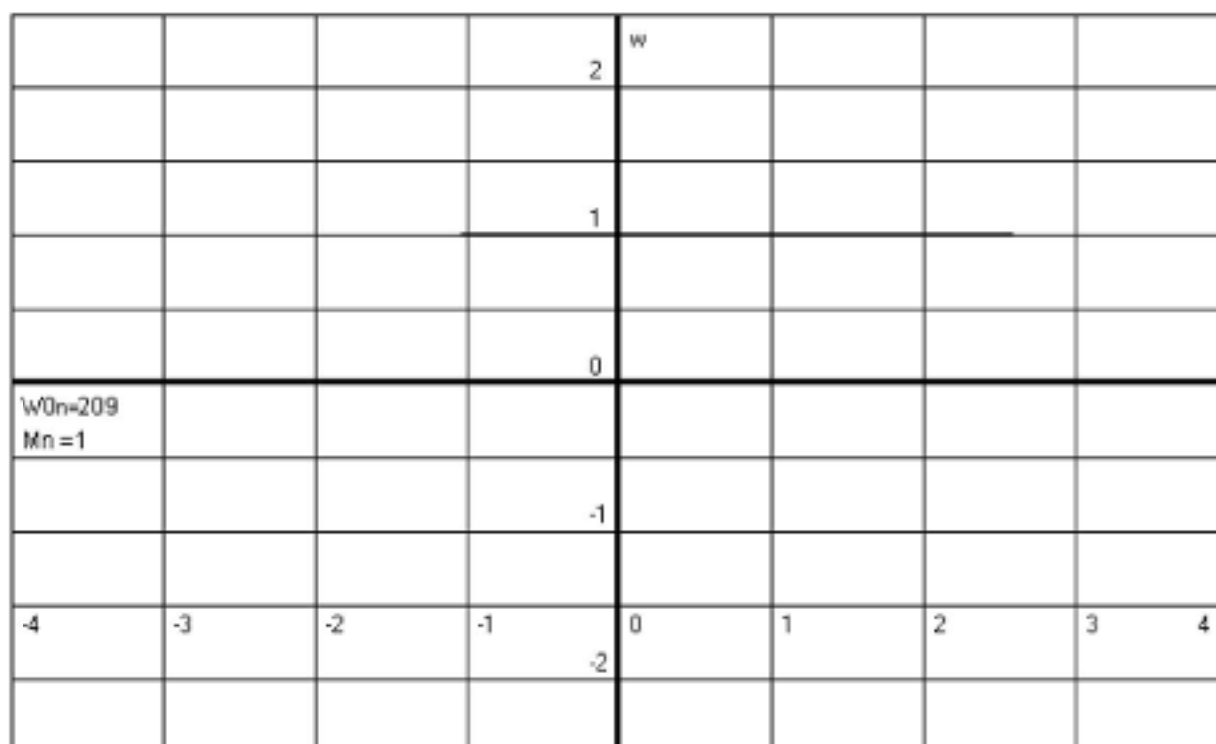


Рисунок 2.7 – Естественная механическая характеристика двигателя
75UMA200

2.5.2 Расчёт координат электропривода, обеспечивающих работу в заданных точках

При питании асинхронного двигателя от преобразователя частоты в процессе преобразования напряжения промышленной частоты в напряжение регулируемой амплитуды и регулируемой частоты возникают потери напряжения и мощности в преобразователе. Обычно такие преобразователи имеют внутренние обратные связи, и при изменении нагрузки двигателя выходное напряжение и частота практически не изменяются. Поэтому в дальнейшем напряжение и частоту на статоре двигателя будем считать независимыми от нагрузки.

Синхронная скорость двигателя ω_0 зависит от частоты питающей сети f_1 и числа пар полюсов p_n

$$\omega_g = \frac{2\pi \cdot f_1}{p_n} \quad (2.31)$$

Для устойчивой работы двигателя необходимо при изменении частоты поддерживать перегрузочную способность двигателя, что обеспечивается регулированием напряжения на статоре по различным законам в зависимости от частоты и от характера изменения статического момента. Эти особенности необходимо учитывать при расчете частоты и амплитуды напряжения.

Наиболее распространен закон изменения амплитуды напряжения пропорционально частоте $U/f = \text{const}$. При таком законе максимальный момент постоянен $M_K \cong \text{const}$ и не зависит от частоты. Также не зависит от частоты

$$\Delta\omega_z = \omega_g - \omega_z \approx \text{const}.$$

Это позволяет для приближенных расчетов использовать прием параллельного переноса естественной механической характеристики, при этом естественная характеристика перемещается вдоль оси ω и устанавливается в точке $\omega_{зад}, M_{зад}$. В этом случае синхронная скорость, соответствующая заданной точке

$$\omega_{син1} = \omega_{син} + \Delta\omega_z, \quad (2.32)$$

где $\Delta\omega_z = 78,5 - 77,5 = 1$ рад/с – отклонение скорости от синхронной на естественной характеристике при заданном моменте $M_{зад}$.

$$\omega_{син1} = 48 + 1 = 49 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{син2} = 64 + 1 = 65 \text{ рад/с}.$$

Частота напряжения в заданной точке

$$f_{1зад} = \frac{\omega_{син}}{\omega_{син}} \cdot f_{1н} = \alpha \cdot f_{1н}, \quad (2.33)$$

где $f_{1н} = 50$ Гц – номинальная частота напряжения на статоре.

									Лист
									45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ				

$$f_{1\text{ма}1} = \frac{49}{78,5} \cdot 50 = 31,2 \text{ Гц},$$

$$f_{1\text{ма}2} = \frac{65}{78,5} \cdot 50 = 41,4 \text{ Гц}.$$

Напряжение на статоре определим

$$U_{1\phi\text{ма}1} = \frac{f_{1\text{ма}1}}{f_{1н}} \cdot U_{1н} = \frac{31,2}{50} \cdot 220 = 137,3 \text{ В},$$

$$U_{1\phi\text{ма}2} = \frac{f_{1\text{ма}2}}{f_{1н}} \cdot U_{1н} = \frac{41,4}{50} \cdot 220 = 182,2 \text{ В}.$$

Механические характеристики, обеспечивающие работу двигателя в заданных точках, построены на рисунке 2.8.

После уточнения окончательно примем: $f_{1\text{ма}1} = 31,3 \text{ Гц}$, $U_{1\phi\text{ма}1} = 115,8 \text{ В}$; $f_{1\text{ма}2} = 41,4 \text{ Гц}$, $U_{1\phi\text{ма}2} = 153,2 \text{ В}$.

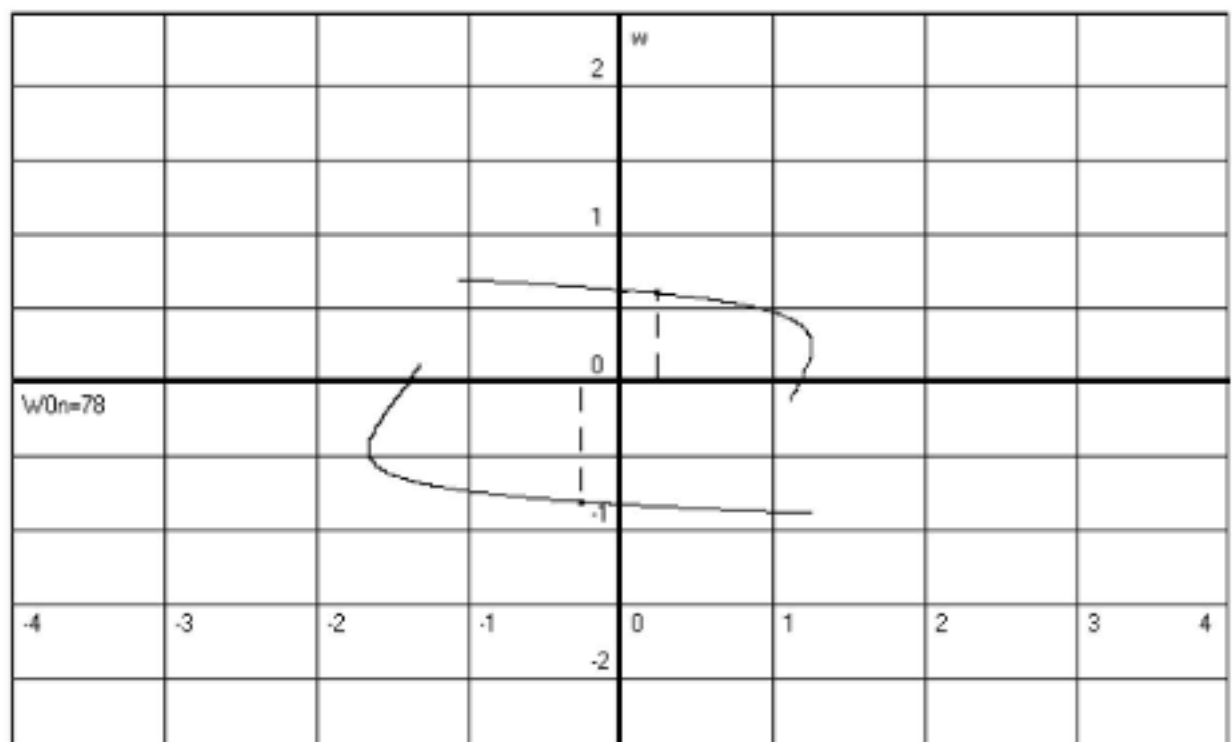


Рисунок 2.8 – Механические характеристики, обеспечивающие работу двигателя тележки в заданных точках

Для электропривода датчика из (2.33), найдем частоту напряжения в заданной точке

$$f_{1\text{эл}} = \frac{149,8}{209,4} \cdot 50 = 35,8 \text{ Гц.}$$

Напряжение статора $U_{1\phi\text{эл}} = 220 \text{ В.}$

Механическая характеристика, обеспечивающая работу двигателя в заданных точках, приведена на рисунке 2.9.

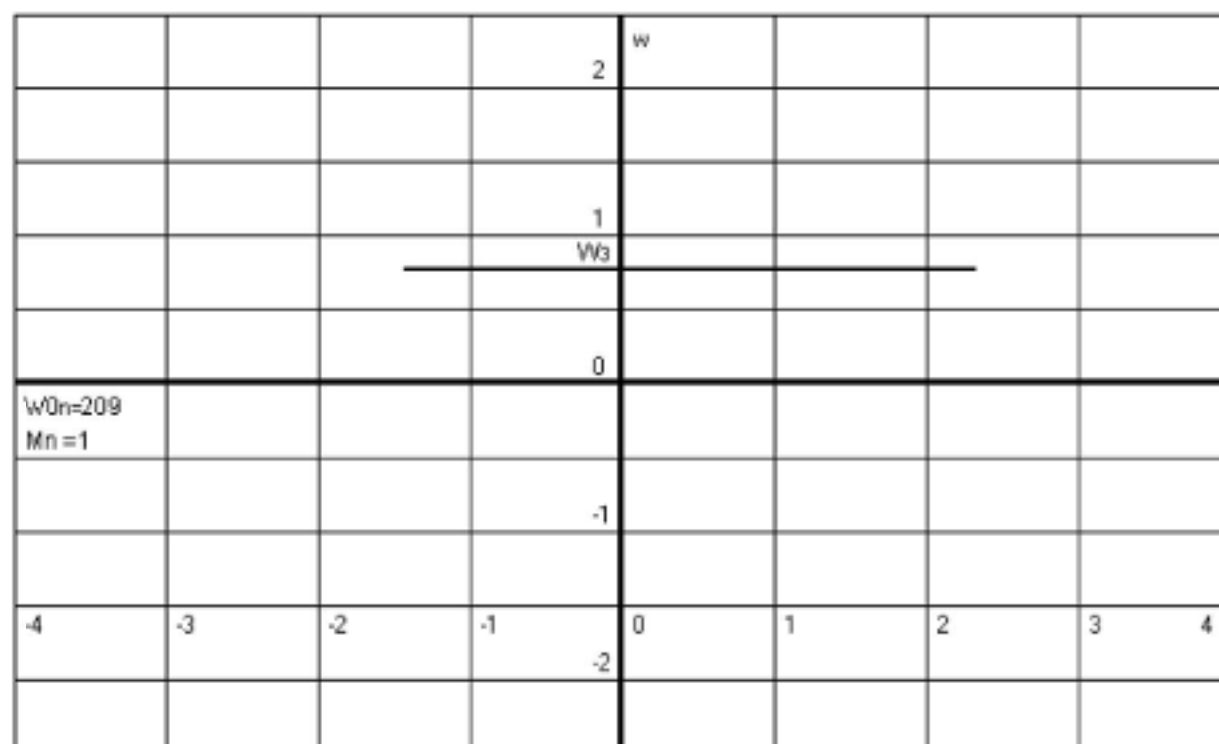


Рисунок 2.9 – Механическая характеристика, обеспечивающая работу двигателя датчика в заданных точках

2.6 Расчёт координат, обеспечивающих пуск и торможение двигателя

При питании двигателя от индивидуального преобразователя появляется возможность плавного регулирования напряжения, поэтому переходные процессы пуска и торможения обеспечиваются формированием напряжения управления преобразователем.

В установившемся режиме нарастания скорости двигателя, когда затухают свободные составляющие переходного процесса,

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega_0}{dt} = \xi_0 = \text{const},$$

а величина установившегося значения динамического момента двигателя равна:

$$M_{\text{дин}} = J \cdot \xi_0. \quad (2.34)$$

Базовая постоянная задатчика интенсивности определяется по формуле:

$$T_{\text{ин}} = \frac{\omega_{0н}}{\xi_0} = \frac{J \cdot \omega_{0н}}{M_{\text{н}}} \cdot \frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{дин}}} = \frac{T_{\text{л}}}{\bar{M}_{\text{дин}}}; \quad (2.35)$$

$$T_{\text{л}} = J \frac{\omega_{0н}}{M_{\text{н}}}, \quad (2.36)$$

где $T_{\text{л}}$ – механическая постоянная времени;

$\bar{M}_{\text{дин}}$ – относительное значение динамического момента двигателя;

$$T_{\text{л}} = 0,163 \cdot \frac{78,5}{7,5} = 1,7 \text{ с},$$

$$T_{\text{ин}} = \frac{1,7}{0,7} = 2,4 \text{ с},$$

$$T_{зд} = 1,82 \cdot 10^{-4} \frac{209,4}{1,1} = 0,035 \text{ с},$$

$$T_{зд} = \frac{0,035}{0,064} = 0,55 \text{ с}.$$

Для снижения времени пуска будем использовать пропорционально-интегральный задатчик интенсивности.

$$\omega_{\text{ин}} = \Delta\omega_c = 78,5 - 73,7 = 5,2 \text{ рад/с},$$

$$f_{\text{ин}} = \frac{5,2}{78,5} \cdot 50 = 3,3 \text{ Гц}.$$

После уточнения с программы ALGeG примем $f_{\text{ин}} = 10 \text{ Гц}$.

2.7 Расчёт переходных процессов электропривода

Для расчёта переходных процессов электропривода тележки и построения нагрузочных диаграмм использована прикладная программа ZIAD 98, для электропривода датчика – ZINA 98.

В таблицах 2.9-2.12 приведены данные, введенные в программу, а на рисунках 2.10-2.13 нагрузочные диаграммы для разных режимов работы электропривода тележки. На рисунке 2.14 и 1.15 представлены нагрузочные диаграммы для движения назад.

В виду отсутствия прикладных программ расчёта переходных процессов и построения нагрузочных диаграмм для синхронного двигателя, воспользуемся для расчёта переходных процессов программой ZINA 98. Так как синхронный двигатель по своим свойствам наиболее близок к двигателю постоянного тока.

В таблицах 2.13-2.15 приведены данные, введенные в программу, а на рисунках 2.16-2.18 нагрузочные диаграммы для разных режимов работы электропривода датчика.

Таблица 2.9 – Данные пуска двигателя тележки с форсировкой напряжения

Число пар полюсов	4.00000
Номинальный ток статора, А	2.20000
Номинальный момент, Н*м	7.50000
Номинальное фазное напряжение статора, В	220.00000
Активное сопротивление статора, Ом	28.40000
Активное приведенное сопротивление ротора, Ом	10.70000
Индуктивное сопротивление рассеяния статора, Ом	4.90000
Индуктивное приведенное сопротивление рассеяния ротора, Ом	5.20000
Момент статический реактивный, Н*м	1.71000
КПД передачи	0.97000
Момент холостого хода двигателя, Н*м	0.00000
Момент инерции ротора с учетом момента инерции передачи, кгм ²	0.00700
Приведенный момент инерции рабочего органа, кгм ²	0.15600
Податливость упругого элемента, рад/(Н*м)	0.00000
Начальная синхронная скорость, рад/с	0.00000
Конечная синхронная скорость, рад/с	49.10000
Постоянная задатчика интенсивности, с	2.40000
Скачок синхронной скорости (ПИ-задатчик), рад/с	10.00000
Минимальная частота преобразователя частоты, Гц	0.50000
Максимальная средняя выпрямленная ЭДС выпрямителя ТПЧ, В	610.00000
Потери мощности преобразователя в номинальном режиме, Вт	30.00000
Закон регулирования напряжения	U/SQR(F) = 29.00000

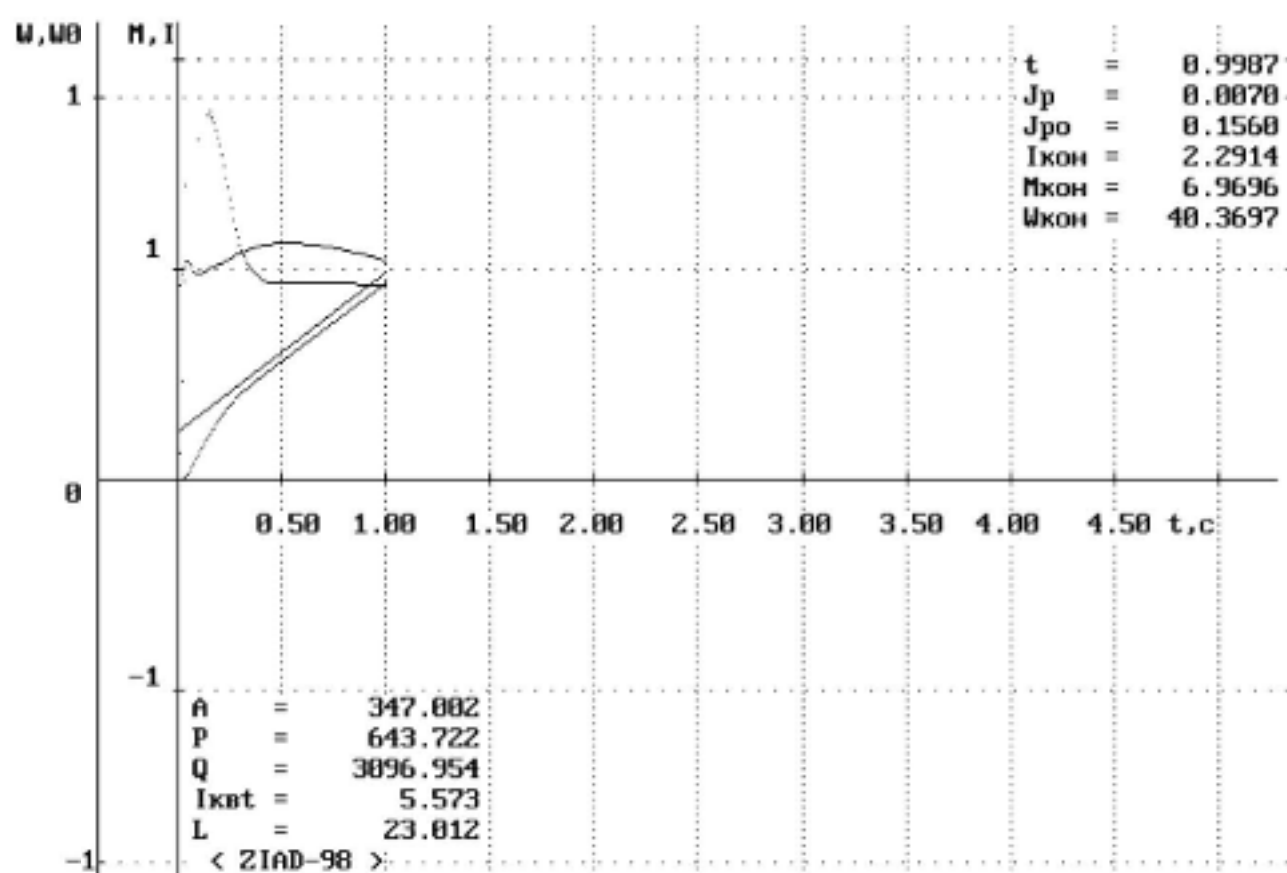


Рисунок 2.10 – Нагрузочные диаграммы пуска двигателя тележки

Таблица 2.10 – Данные пуска двигателя тележки

Число пар полюсов	4.00000
Номинальный ток статора, А	2.20000
Номинальный момент, Н*м	7.50000
Номинальное фазное напряжение статора, В	220.00000
Активное сопротивление статора, Ом	28.40000
Активное приведенное сопротивление ротора, Ом	10.70000
Индуктивное сопротивление рассеяния статора, Ом	4.90000
Индуктивное приведенное сопротивление рассеяния ротора, Ом ...	5.20000
Момент статический реактивный, Н*м	1.71000
КПД передачи	0.97000
Момент холостого хода двигателя, Н*м	0.00000
Момент инерции ротора с учетом момента инерции передачи, кгм ²	0.00700
Приведенный момент инерции рабочего органа, кгм ²	0.15600
Податливость упругого элемента, рад/(Н*м)	0.00000
Начальная синхронная скорость, рад/с	42.70000
Конечная синхронная скорость, рад/с	49.10000
Постоянная задатчика интенсивности, с	2.40000
Скачок синхронной скорости (ПИ-задатчик), рад/с	10.00000
Минимальная частота преобразователя частоты, Гц	0.50000
Максимальная средняя выпрямленная ЭДС выпрямителя ТПЧ, В	610.00000
Потери мощности преобразователя в номинальном режиме, Вт	30.00000
Закон регулирования напряжения	U/F = 3.70000

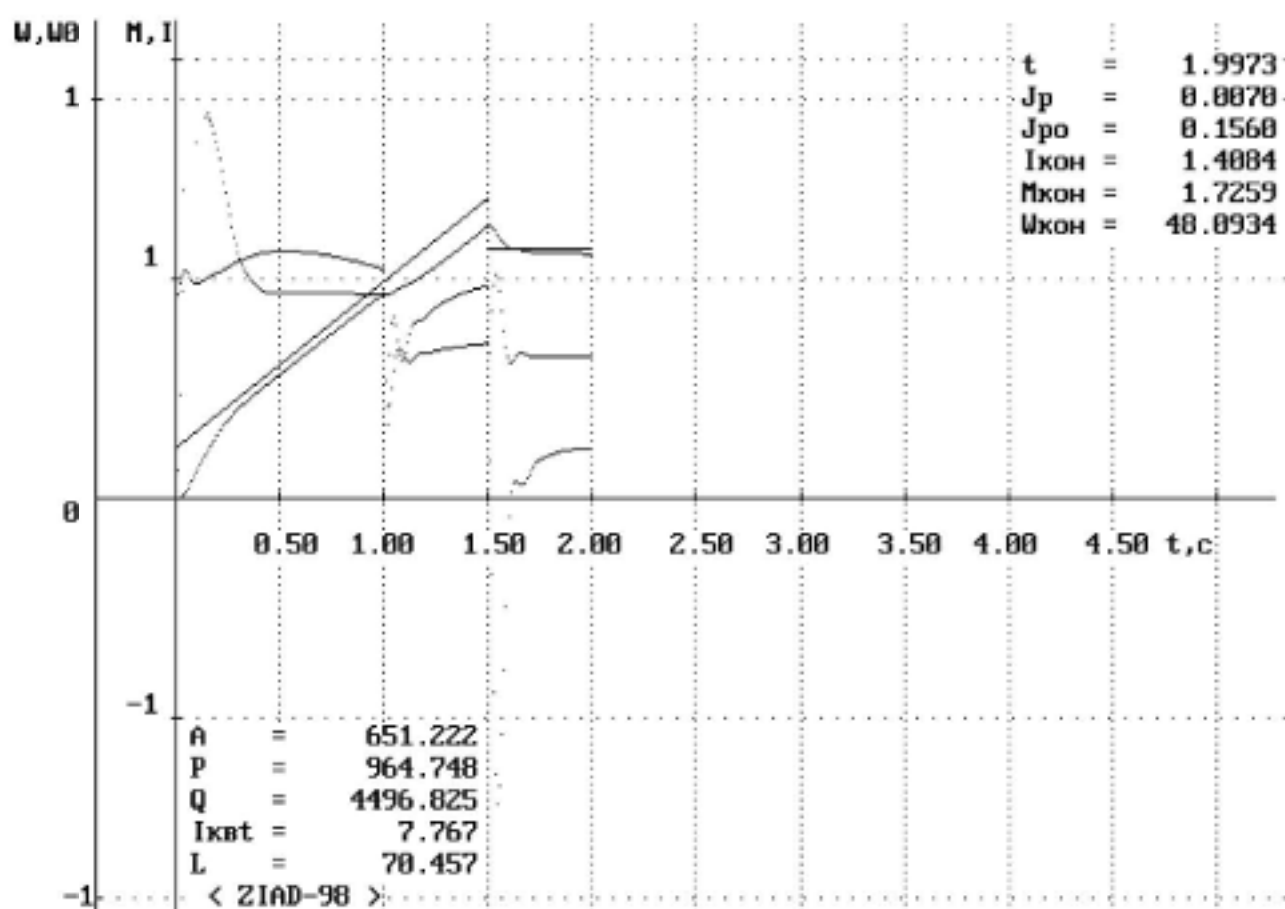


Рисунок 2.11 – Нагрузочные диаграммы пуска двигателя тележки

Таблица 2.11 – Данные, введенные для инверторного торможения

Число пар полюсов	4.00000
Номинальный ток статора, А	2.20000
Номинальный момент, Н*м	7.50000
Номинальное фазное напряжение статора, В	220.00000
Активное сопротивление статора, Ом	28.40000
Активное приведенное сопротивление ротора, Ом	10.70000
Индуктивное сопротивление рассеяния статора, Ом	4.90000
Индуктивное приведенное сопротивление рассеяния ротора, Ом	5.20000
Момент статический реактивный, Н*м	1.71000
КПД передачи	0.97000
Момент холостого хода двигателя, Н*м	0.00000
Момент инерции ротора с учетом момента инерции передачи, кгм ²	0.00700
Приведенный момент инерции рабочего органа, кгм ²	0.15600
Податливость упругого элемента, рад/(Н*м)	0.00000
Начальная синхронная скорость, рад/с	49.10000
Конечная синхронная скорость, рад/с	0.00000
Постоянная задатчика интенсивности, с	2.40000
Скачок синхронной скорости (ПИ-задатчик), рад/с	10.00000
Минимальная частота преобразователя частоты, Гц	0.50000
Максимальная средняя выпрямленная ЭДС выпрямителя ТПЧ, В	610.00000
Потери мощности преобразователя в номинальном режиме, Вт	30.00000
Закон регулирования напряжения	U/F = 3.70000

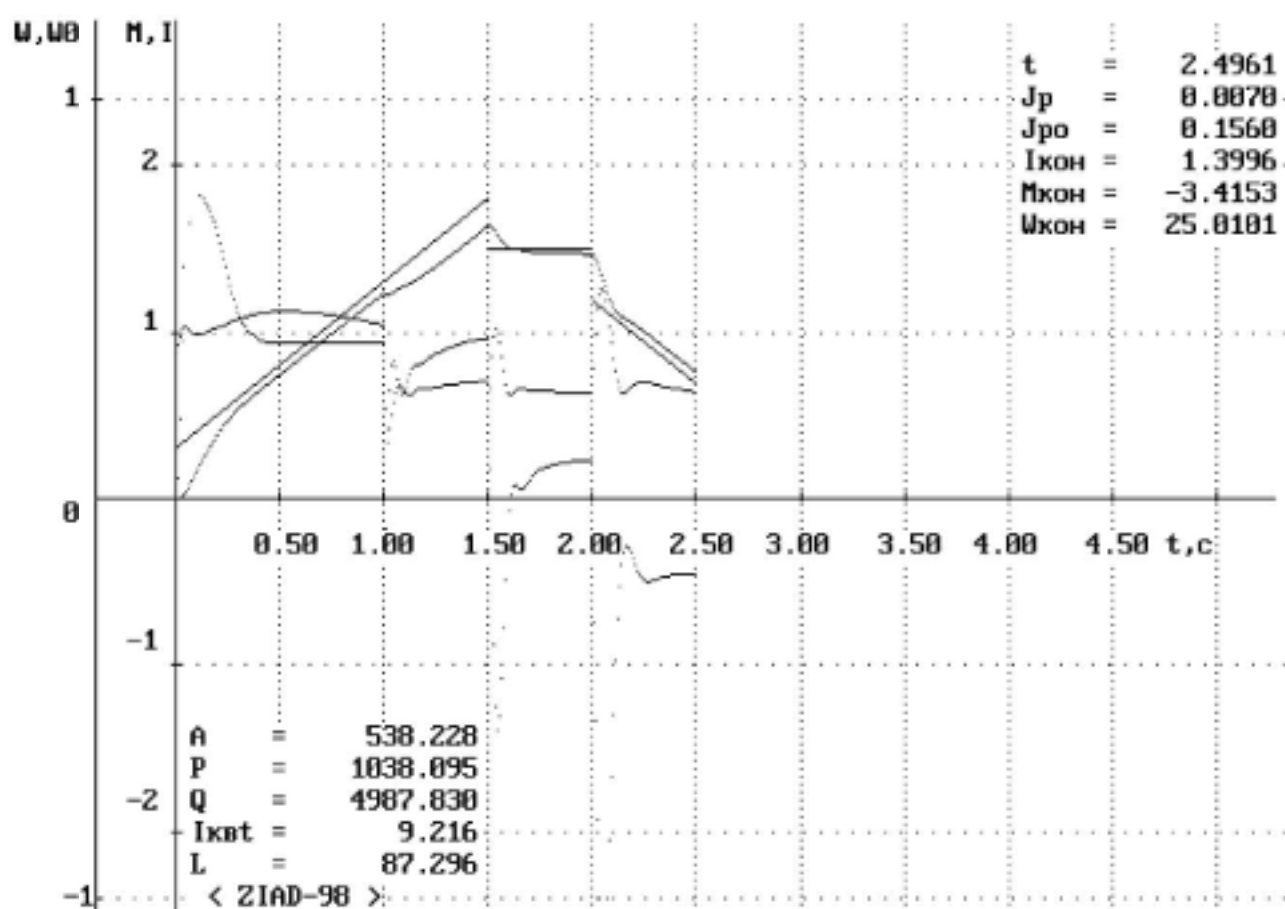


Рисунок 2.12 – Нагрузочные диаграммы торможения двигателя тележки

Таблица 2.12 – Данные, введенные для инверторного торможения

Число пар полюсов	4.00000
Номинальный ток статора, А	2.20000
Номинальный момент, Н*м	7.50000
Номинальное фазное напряжение статора, В	220.00000
Активное сопротивление статора, Ом	28.40000
Активное приведенное сопротивление ротора, Ом	10.70000
Индуктивное сопротивление рассеяния статора, Ом	4.90000
Индуктивное приведенное сопротивление рассеяния ротора, Ом ...	5.20000
Момент статический реактивный, Н*м	1.71000
КПД передачи	0.97000
Момент холостого хода двигателя, Н*м	0.00000
Момент инерции ротора с учетом момента инерции передачи, кгм ²	0.00700
Приведенный момент инерции рабочего органа, кгм ²	0.15600
Податливость упругого элемента, рад/(Н*м)	0.00000
Начальная синхронная скорость, рад/с	49.10000
Конечная синхронная скорость, рад/с	0.00000
Постоянная задатчика интенсивности, с	2.40000
Скачок синхронной скорости (ПИ-задатчик), рад/с	10.00000
Минимальная частота преобразователя частоты, Гц	0.50000
Максимальная средняя выпрямленная ЭДС выпрямителя ТПЧ, В	610.00000
Потери мощности преобразователя в номинальном режиме, Вт	30.00000
Закон регулирования напряжения	U/F = 3.70000

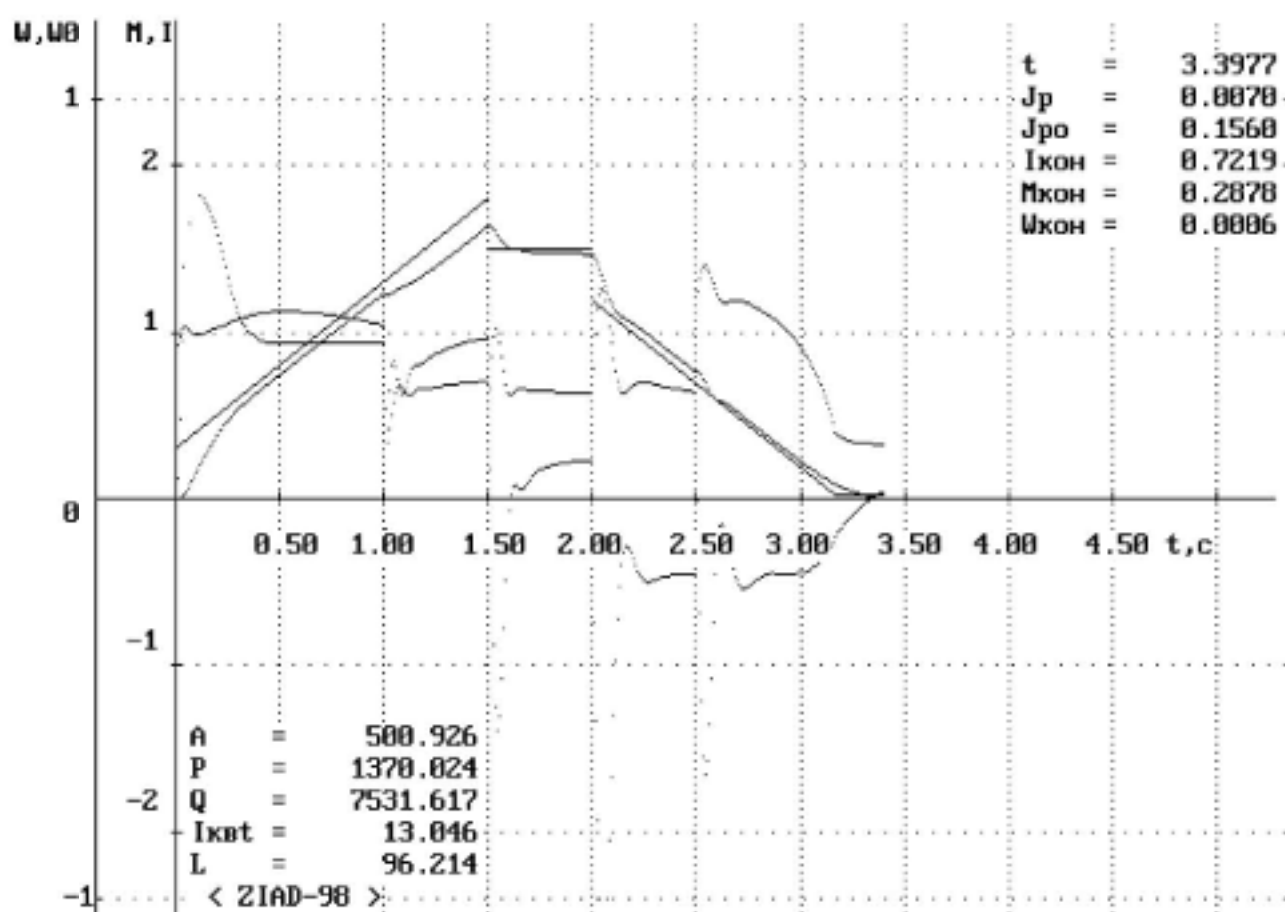


Рисунок 2.13 – Нагрузочные диаграммы торможения двигателя тележки

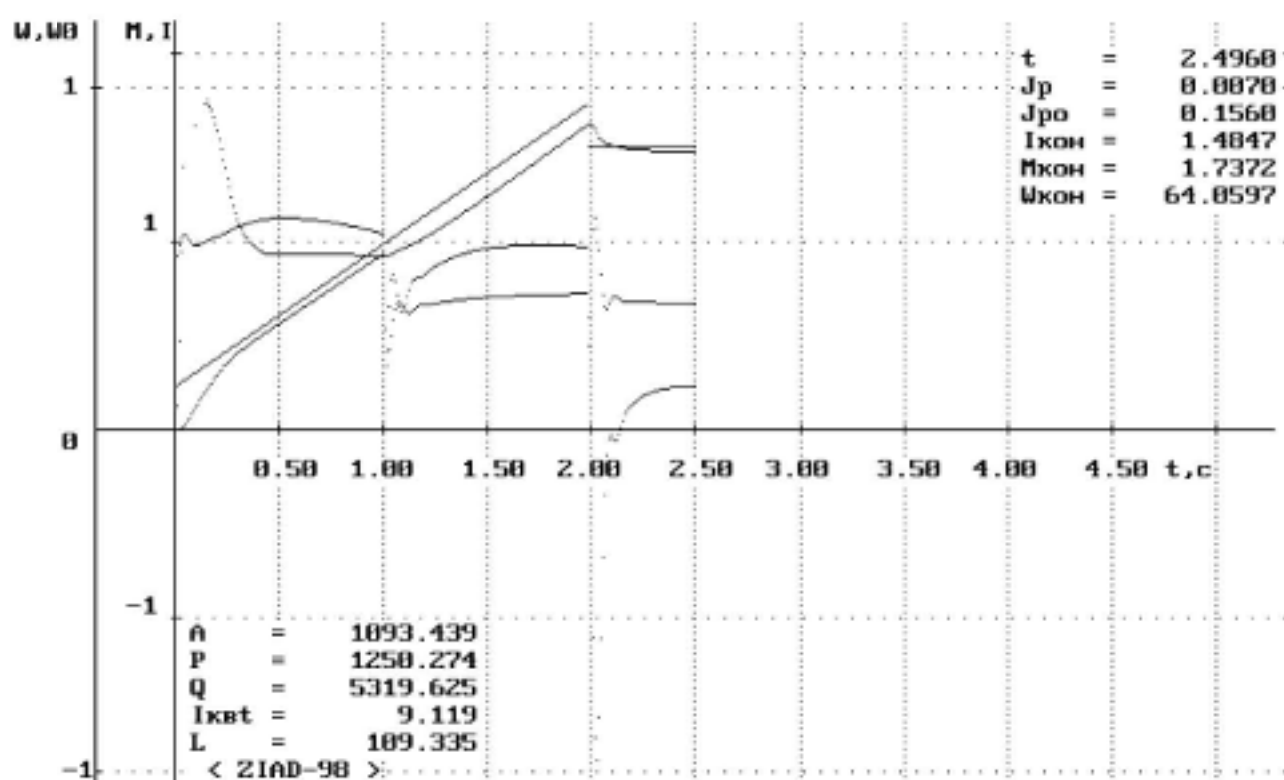


Рисунок 2.14 – Нагрузочные диаграммы пуска для движения тележки назад

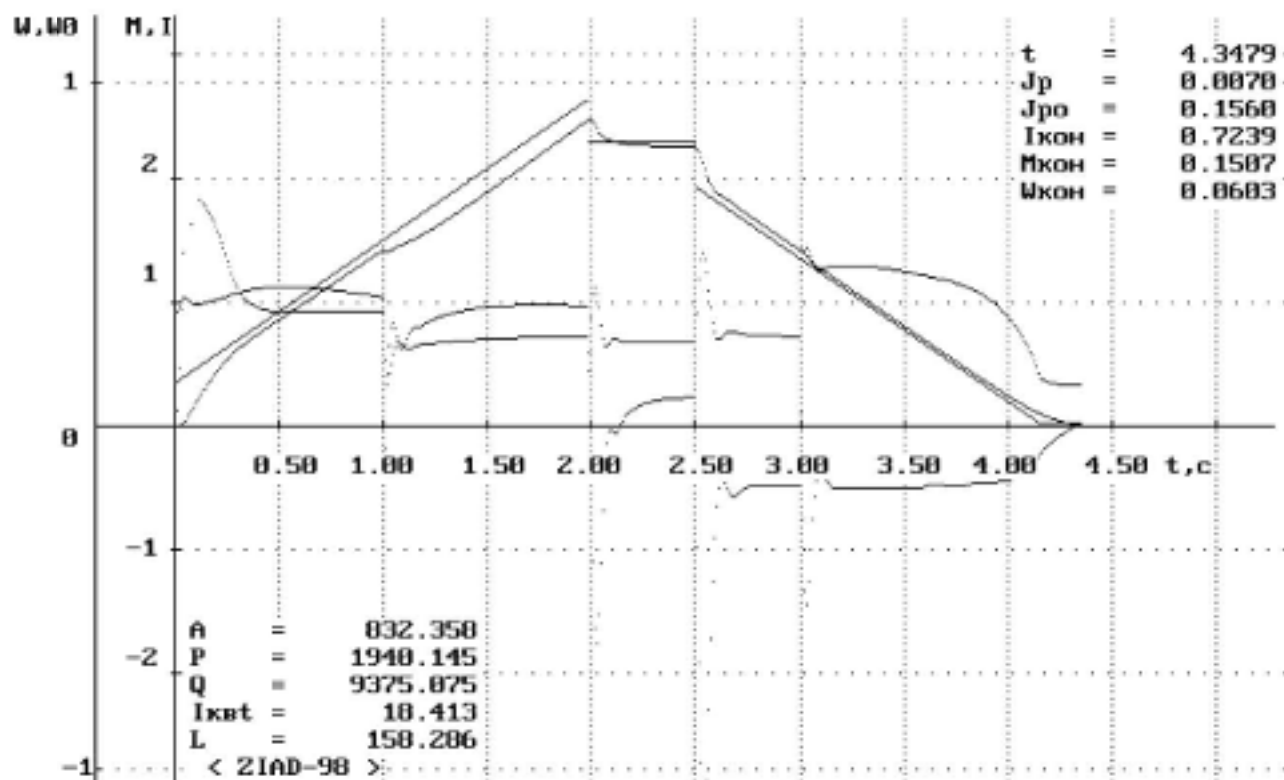


Рисунок 2.15 – Нагрузочные диаграммы торможения для движения тележки назад

Таблица 2.13 – Данные, введенные для пуска двигателя датчика

1. Номинальная скорость идеального холостого хода $\omega_{он}$, рад/с..	209.39999
2. Номинальный ток $I_{ян}$, А.....	0.50000
3. Номинальный электромагнитный момент $M_{эмн}$, Н*м.....	1.10000
4. Номинальное напряжение на якоре $U_{ян}$, В.....	660.00000
5. Момент холостого хода двигателя $M_{хх}$, Н*м.....	0.00000
6. КПД передачи, о.е.	0.94000
7. Момент статический реактивный M_c , Н*м.....	0.01000
8. Потери холостого хода трансформатора $P_{хх}$, Вт.....	30.00000
9. Максимальная ЭДС преобразователя (при $\alpha=0$) $E_{до}$, В.....	1000.00000
10. Кратность тока короткого замыкания $K_{яц}$	5.30000
11. Электромагнитная постоянная времени якорной цепи $T_{я}$, с.....	0.00150
12. Механическая постоянная времени двигателя $T_{дв}$, с.....	0.03500
13. Постоянная времени упругого элемента T_c , с.....	0.00000
14. Механическая постоянная времени рабочего органа $T_{ро}$, с.....	0.00001
15. Постоянная интегрирования пути T_a , с.....	0.00478
16. Шаг интегрирования h , с.....	0.00010
17. Постоянная времени обмотки возбуждения $T_{в}$, с.....	0.00000
18. Напряжение возбуждения при ослаблении поля $U_{в}$, В.....	0.00000
19. Скорость переключения на ослабление поля $\omega_{п}$, рад/с.....	2000.00000
20. Начальная скорость идеального холостого хода $\omega_{нач}$, рад/с..	0.00000
21. Конечная скорость идеального холостого хода $\omega_{окон}$, рад/с...	150.14999
22. Скачок скорости идеального ХХ (ПИ-задатчик), рад/с.....	3.00000
23. Постоянная времени задатчика интенсивности $T_{зи}$, с.....	0.55000

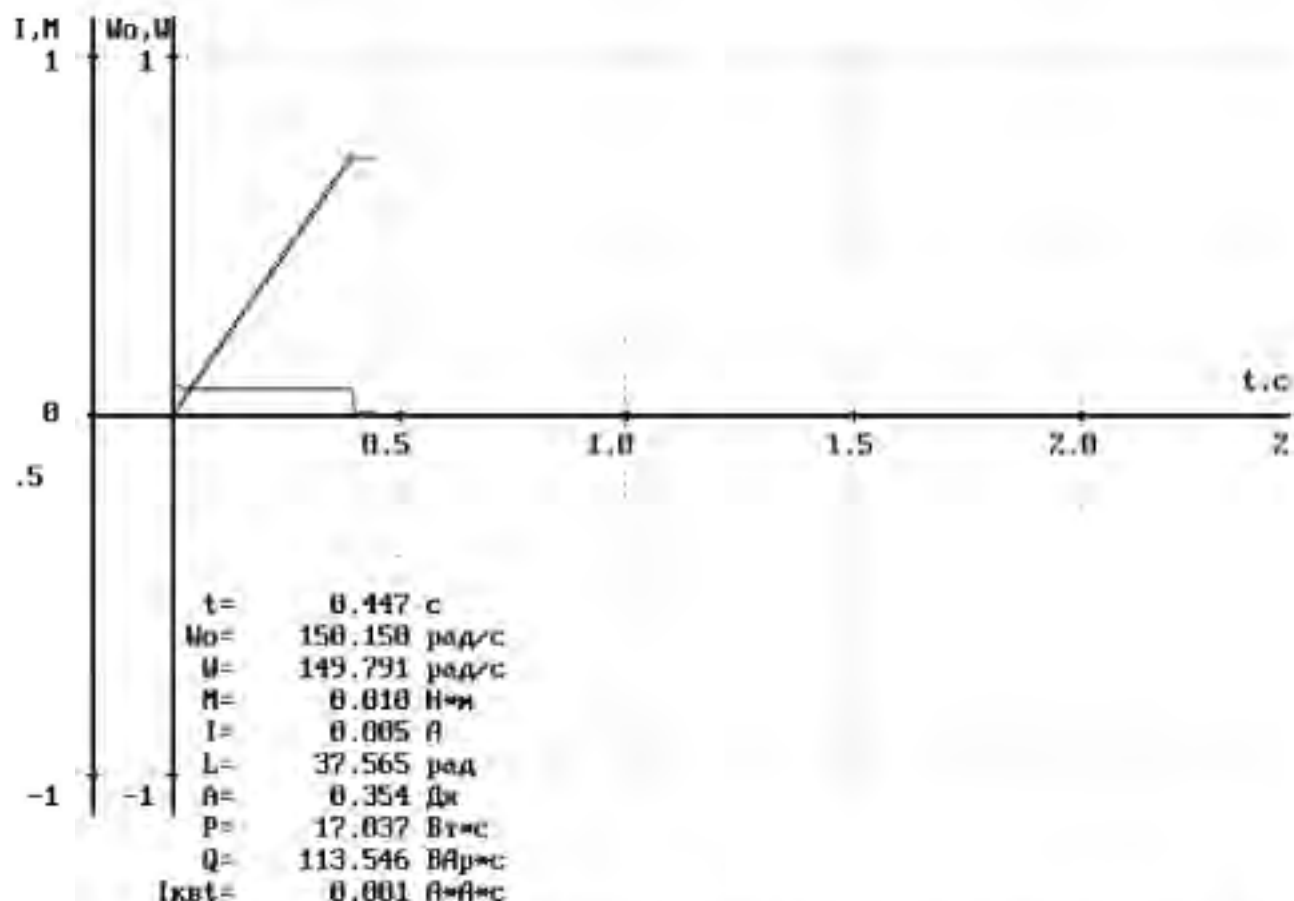


Рисунок 2.16 - Нагрузочные диаграммы пуска двигателя датчика

Таблица 2.14 – Данные, введенные для установившегося режима

1. Номинальная скорость идеального холостого хода $M_{0н}$, рад/с...	289.39999
2. Номинальный ток $I_{ян}$, А.....	0.50000
3. Номинальный электромагнитный момент $M_{эмн}$, Н*м.....	1.10000
4. Номинальное напряжения на якоре $U_{ян}$, В.....	660.00000
5. Момент холостого хода двигателя $M_{хх}$, Н*м.....	0.00000
6. КПД передачи, о.е.	0.94000
7. Момент статический реактивный M_c , Н*м.....	0.01000
8. Потери холостого хода трансформатора $P_{хх}$, Вт.....	38.00000
9. Максимальная ЭДС преобразователя (при $\alpha/\Gamma = 0$) $E_{до}$, В.....	1000.00000
10. Кратность тока короткого замыкания $K_{кз}$	5.30000
11. Электромагнитная постоянная времени якорной цепи $T_я$, с.....	0.00150
12. Механическая постоянная времени двигателя $T_{дв}$, с.....	0.03500
13. Постоянная времени упругого элемента T_c , с.....	0.00000
14. Механическая постоянная времени рабочего органа $T_{рп}$, с.....	0.00001
15. Постоянная интегрирования пути $T_а$, с.....	0.00470
16. Шаг интегрирования h , с.....	0.00010
17. Постоянная времени обмотки возбуждения $T_в$, с.....	0.00000
18. Напряжение возбуждения при ослаблении поля $U_в$, В.....	0.00000
19. Скорость переключения на ослабление поля ω_p , рад/с.....	2000.00000
20. Начальная скорость идеального холостого хода $M_{0нач}$, рад/с...	150.14999
21. Конечная скорость идеального холостого хода $M_{0кон}$, рад/с...	150.14999
22. Скачок скорости идеального ХХ (ПИ-задатчик), рад/с.....	3.00000
23. Постоянная времени задатчика интенсивности $T_{эи}$, с.....	0.55000

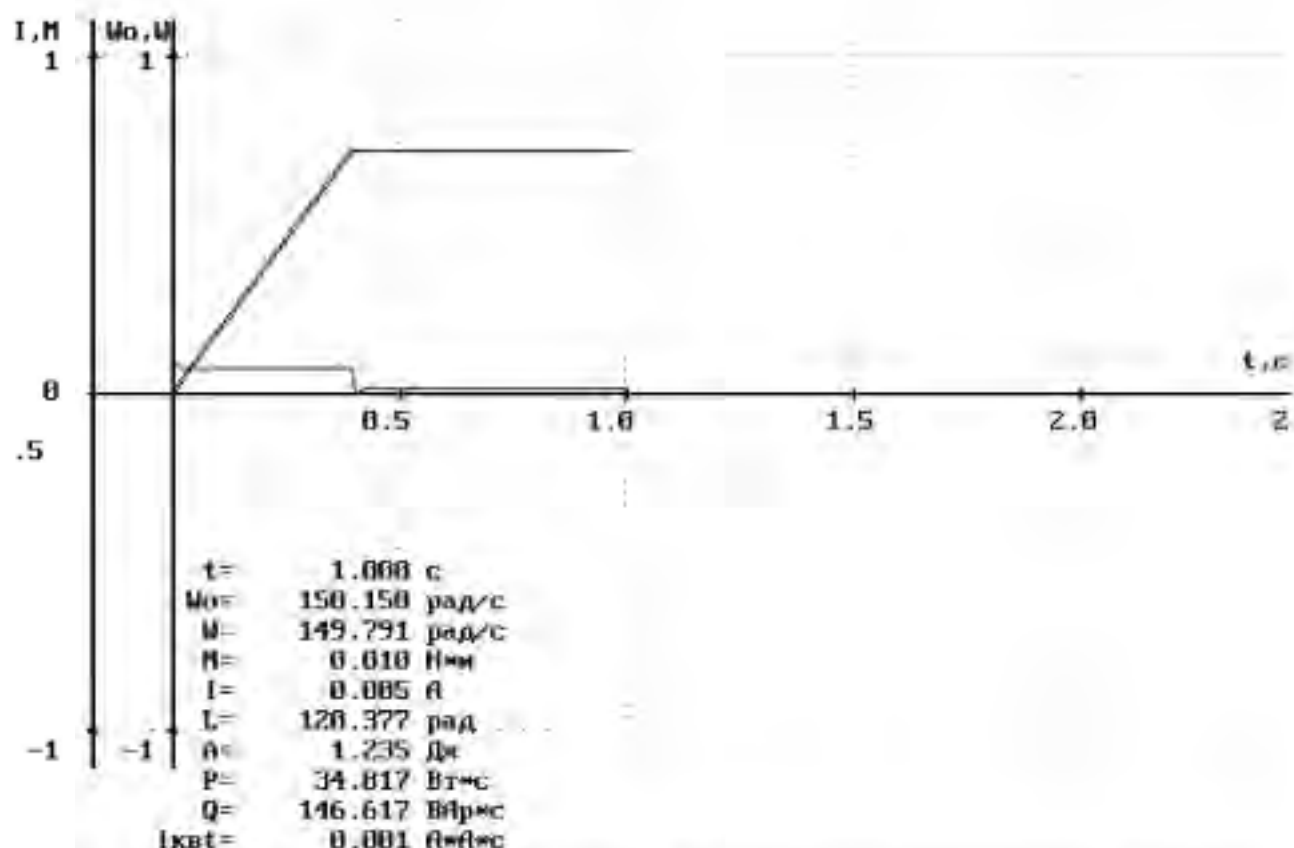


Рисунок 2.17 - Нагрузочные диаграммы установившегося режима двигателя датчика

Таблица 2.15 - Данные, введенные для инверторного торможения

1. Номинальная скорость идеального холостого хода $\dot{\omega}_{он}$, рад/с..	209.39999
2. Номинальный ток $I_{ан}$, А.....	0.50000
3. Номинальный электромагнитный момент $M_{эм}$, Н·м.....	1.10000
4. Номинальное напряжение на якоре $U_{ан}$, В.....	660.00000
5. Момент холостого хода двигателя $M_{хх}$, Н·м.....	0.00000
6. КПД передачи, п.е.	0.94000
7. Момент статический реактивный M_c , Н·м.....	0.01000
8. Потери холостого хода трансформатора $P_{хх}$, Вт.....	30.00000
9. Максимальная ЭДС преобразователя (при $\alpha = 0$) $E_{до}$, В.....	1000.00000
10. Кратность тока короткого замыкания $K_{кз}$	5.30000
11. Электромагнитная постоянная времени якорной цепи $T_{я}$, с.....	0.00150
12. Механическая постоянная времени двигателя $T_{дв}$, с.....	0.03500
13. Постоянная времени упругого элемента T_c , с.....	0.00000
14. Механическая постоянная времени рабочего органа $T_{ро}$, с.....	0.00001
15. Постоянная интегрирования пути $T_{п}$, с.....	0.00478
16. Шаг интегрирования h , с.....	0.00010
17. Постоянная времени обмотки возбуждения $T_{в}$, с.....	0.00000
18. Напряжение возбуждения при ослаблении поля $U_{в}$, В.....	0.00000
19. Скорость переключения на ослабление поля $\dot{\omega}_п$, рад/с.....	2000.00000
20. Начальная скорость идеального холостого хода $\dot{\omega}_{нач}$, рад/с..	150.14999
21. Конечная скорость идеального холостого хода $\dot{\omega}_{кон}$, рад/с...	0.00000
22. Скачок скорости идеального ХХ (ПН-задатчик), рад/с.....	3.00000
23. Постоянная времени задатчика интенсивности $T_{ин}$, с.....	0.55000

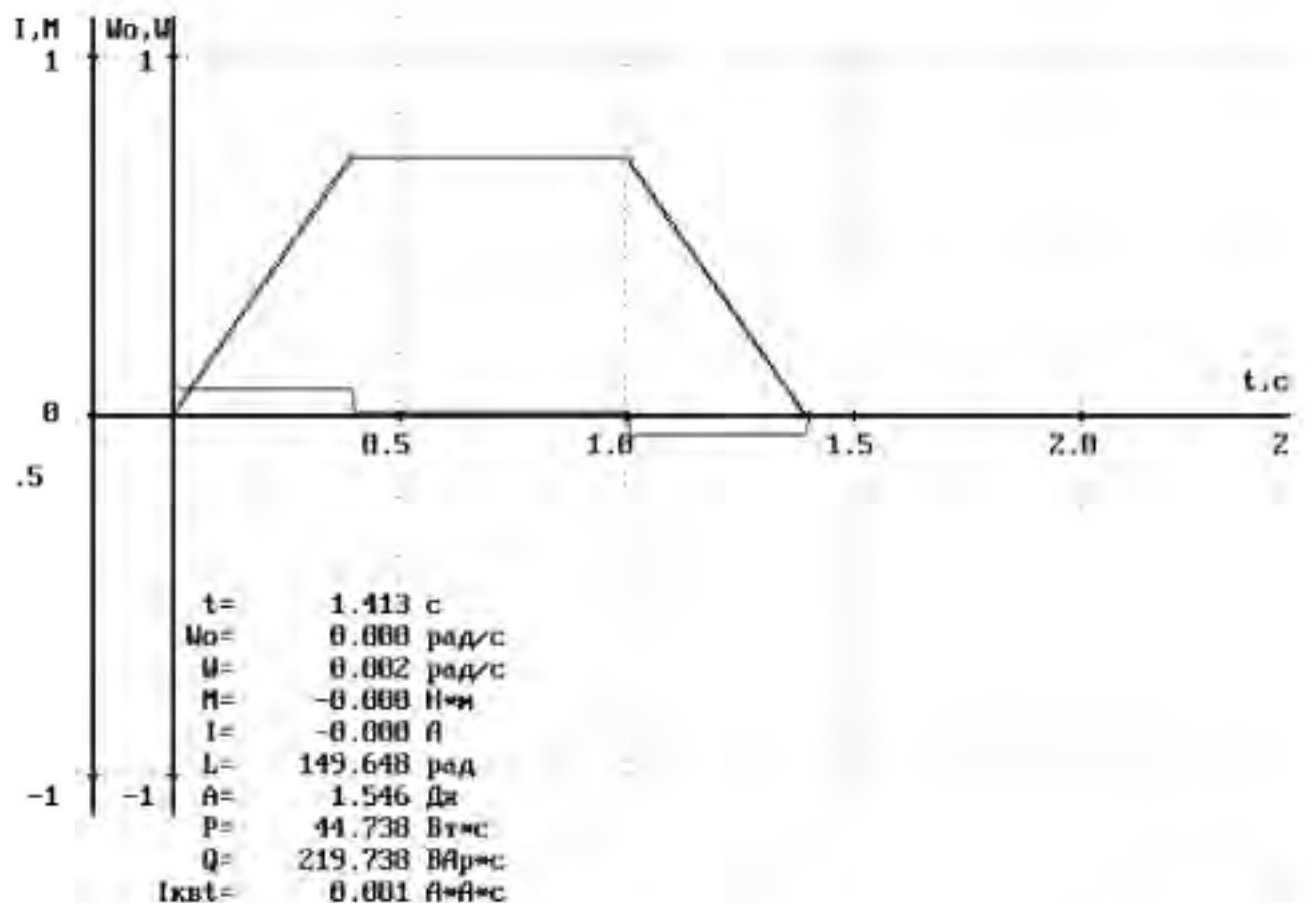


Рисунок 2.18 - Нагрузочные диаграммы торможения двигателя датчика

2.8 Проверка электропривода на заданную производительность, по нагреву и перегрузочной способности двигателя и преобразователя

Время движения тележки с установившейся скоростью определим, подставляя числовые значения в (2.26)

$$t_{\text{пр}} = \frac{192 - 96,2}{48} = 2 \text{ с,}$$

$$t_{\text{ув}} = \frac{960 - 158,3}{64} = 12,5 \text{ с.}$$

Тогда

$$t_{\text{эл}} = 5 \cdot (t_{\text{ин}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{ув}}) + t_{\text{оз}} + t_{\text{пр2}} + t_{\text{ув2}} = 5 \cdot (2 + 2 + 1,4) + 2,5 + 12,5 + 1,85 = 43,85 \text{ с.}$$

Фактическое время цикла – 43,85 с, что меньше времени определенного в техническом задании.

Для двигателя датчика:

$$t_{\text{зад}} = \frac{600}{149,8} = 4 \text{ с.}$$

При торможении угол поворота вала двигателя датчика должен быть равен 37,45 рад. Из нагрузочных диаграмм видно, что угол поворота вала двигателя (29,3 рад) меньше заданного. Таким образом, после окончания снятия сечения, необходимо сохранить установившуюся скорость, для обеспечения заданного угла поворота вала двигателя, в течение

$$t_{\text{зад}} = \frac{37,45 - 29,3}{149,8} = 0,05 \text{ с.}$$

Тогда

$$t_{\text{факт}} = 6 \cdot (t_{\text{на}} + t_{\text{зад}} + t_{\text{зад}} + t_{\text{т}}) = 6 \cdot (0,447 + 4 + 0,05 + 0,413) = 29,46 \text{ с.}$$

Условия технического задания выполнены, так как $29,46 \text{ с} < 33 \text{ с}$.

Асинхронный двигатель тележки является двигателем закрытого исполнения (IP54) $\beta_0 = 0,6$. Коэффициент ухудшения теплоотдачи:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,6 && \text{при } 0 \leq \omega \leq 0,2 \cdot \omega_n; \\ \beta_1 &= \frac{0,6+1}{2} = 0,8 && \text{при } 0,2 \cdot \omega_n \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_n; \\ \beta_1 &= 1 && \text{при } \omega \geq 0,8 \cdot \omega_n. \end{aligned}$$

Эквивалентный ток двигателя:

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{5 \cdot (7,8 + 1,4^2 \cdot 2 + 5,25) + 9,1 + 1,5^2 \cdot 12,5 + 9,3}{0,6 \cdot 6 + 0,8 \cdot 24,5 + 1 \cdot 13,35}} = 1,9 \text{ А;}$$

Допустимый по нагреву ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_k}{\text{ПВ}_\phi}} = 2,2 \cdot \sqrt{\frac{0,25}{0,27}} = 2 \text{ А.}$$

Серводвигатель двигателя датчика является двигателем защищенного исполнения $\beta_0 = 0,25$. Коэффициент ухудшения теплоотдачи:

$$\beta_1 = 0,25 \quad \text{при } 0 \leq \omega \leq 0,2 \cdot \omega_n;$$

$$\beta_1 = \frac{0,25+1}{2} = 0,625 \quad \text{при } 0,2 \cdot \omega_n \leq \omega \leq 0,8 \cdot \omega_n;$$

$$\beta_1 = 1 \quad \text{при } \omega \geq 0,8 \cdot \omega_n.$$

Эквивалентный ток двигателя:

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i \Delta t_i}} = \sqrt{\frac{6 \cdot (0,001 + 0,005^2 \cdot 4)}{0,25 \cdot 0,2 + 0,625 \cdot 0,6 + 1 \cdot 28,66}} = 0,016 \text{ А;}$$

Допустимый по нагреву ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_k}{\text{ПВ}_\phi}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,15}{0,18}} = 0,46 \text{ А.}$$

Условие $I_3 \leq I_{\text{доп}}$ выполняется, то есть двигатель датчика проходит проверку по нагреву.

Проверка двигателя на кратковременную перегрузку заключается в сравнении наибольшего значения момента двигателя $M_{\text{макс}} = 13,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ с допустимым $M_{\text{доп}} = 14,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Таким образом, двигатель тележки проходит по условию кратковременной перегрузки. Для двигателя датчика $M_{\text{макс}} = 0,01 \text{ Н}\cdot\text{м}$, что много меньше номинального.

Максимальный ток для привода тележки $I_{\text{макс}} = 2,9 \text{ А}$ ($t = 0,5 \text{ с}$), преобразователь допускает перегрузку на 110 % в течении 5 секунд, следовательно преобразователь проходит проверку по перегрузочной

способности.

Максимальный ток для привода датчика $I_{\max} = 0,005 \text{ A}$ ($t = 0,4 \text{ c}$), что много меньше номинального.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Выбор структуры управления электроприводом

Выбор структуры системы управления электропривода производится с учётом требований технического задания на электропривод, основные пункты которого приведены в таблице 1.2

В качестве внутреннего контура применим контур регулирования тока статора.

При выборе внешнего контура регулирования следует исходить из величины допустимой статической ошибки в поддержании скорости вращения двигателя, сопоставляя контур регулирования напряжения с контуром регулирования скорости.

В схеме с обратной связью по напряжению статическая погрешность поддержания скорости

$$\Delta n_c = \Delta n_{c1} + \Delta n_{c2}, \quad (3.1)$$

где Δn_{c1} и Δn_{c2} – составляющие статической погрешности, вызванные приложением статической нагрузки и нестабильностью потока возбуждения двигателя.

В схеме с интегральным регулятором напряжения, когда можно принять $U_a = \text{const}$, можем найти

						<i>Лист</i>
					13.04.02.2017.226.ПЗ	61
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\Delta n_{c1} = \frac{\Delta M_c}{K_{ca}}, \quad (3.2)$$

где $K_{ca} = U_n / (I_n R_{ca}) = 220 / (0,6 \cdot 144) = 2,55$ – кратность тока короткого замыкания якорной цепи двигателя;

ΔM_c – относительная величина приложенного момента статической нагрузки.

$$\Delta n_{c1} = \frac{1}{2,55} = 0,39.$$

Ввиду трудности расчета Δn_{c2} , составляющая Δn_{c2} не учитывается, т.е. $\Delta n_{драсч} = \Delta n_{c1}$.

$$\Delta n_{д доп} = (\Delta n_c / n_{мин}) \cdot D = 0,01 \cdot 10 = 0,1;$$

$$\Delta n_{д расч} > \Delta n_{д доп}.$$

Исходя из последнего неравенства, выбираем внешний контур регулирования с обратной связью по скорости.

3.2 Определение параметров силового оборудования

Механическая постоянная времени

$$T_a = \frac{(J_a + J_n) n_6}{M_n} = \frac{1,82 \cdot 10^{-4} \cdot 209,4}{1,1} = 0,035 \text{ с.} \quad (3.3)$$

Кратность тока короткого замыкания силовой цепи преобразователь – двигатель, представленной на схеме звеном ЯЦ,

$$K_{\text{сн}} = \frac{U_{*}}{I_{*} \cdot R_{\text{сн}}} = \frac{380}{0,5 \cdot 144} = 5,3 \quad (3.4)$$

Электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{\text{сн}} = \frac{L_{\text{сн}}}{R_{\text{сн}}} = \frac{214 \cdot 10^{-3}}{144} = 0,0015 \text{ с.} \quad (3.5)$$

3.3 Синтез регуляторов

3.3.1 Настройка контура регулирования момента

Вертикальный наклон механической характеристики при работе привода на упор можно получить при введении интегрального канала в регуляторе тока. Пропорциональный канал даёт возможность увеличить быстродействие контура регулирования тока, что облегчает условие настройки последующего контура регулирования скорости и при резких перегрузках привода исключает в переходных режимах выбросы тока якоря сверх допустимых значений.

Для выбора параметров регулятора тока воспользуемся структурной схемой приведенной на рисунке 3.1. Она получена при неучете работы внешнего контура регулирования скорости и при отбрасывании обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы заторможенного двигателя на упор.

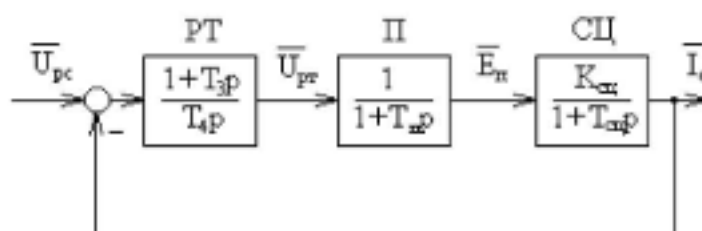


Рисунок 3.1 – Структурная схема контура регулирования тока

Вспользовавшись, правилом технического оптимума [6]:

- выберем постоянную времени формирующего канала

$$T_3 = T_{\max} = T_{\text{ог}} = 0,0015 \text{ с.}$$

- введем расчетную постоянную времени контура регулирования тока

$$T_{\text{rc}} = \frac{T_3}{K_{\text{ог}}};$$

- выберем величину расчётной постоянной времени

$$T_{\text{rc}} = \sum T_{\text{rc}} = (2...4) \cdot T_{\text{rc}} = (2...4) \cdot 0,001 = (0,002...0,004) \text{ с.}$$

Примем постоянную времени $T_4 = 0,018 \text{ с.}$, при которой достигается максимальное быстроедействие при минимуме перерегулирования.

Тогда

$$T_{\text{rc}} = \frac{T_4}{K_{\text{ог}}} = \frac{0,018}{5,3} = 0,0034 \text{ с.}$$

3.3.2 Настройка контура регулирования скорости

Выберем контур регулирования скорости с пропорционально-интегральным регулятором, для обеспечения требуемой точности.

На расчетной структурной схеме (рисунок 3.2) контур регулирования скорости представлен упрощенной передаточной функцией. Структура и параметры звеньев, входящих в контур регулирования тока, при настройке контура регулирования скорости не изменяются

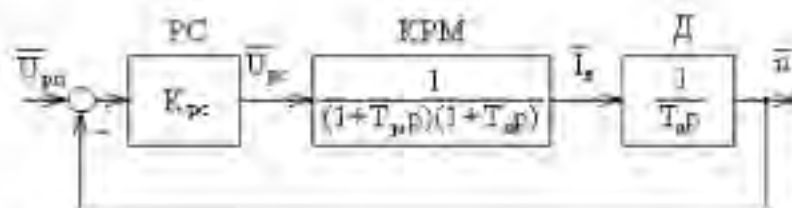


Рисунок 3.2 – Структурная схема контура регулирования скорости

Воспользуемся правилом технического оптимума [6]:

- введем расчётную постоянную времени контура регулирования скорости

$$T_{рс} = \frac{T_{д,Р}}{K_{РС}}$$

- выберем величину расчётной постоянной времени

$$T_{рс} = (2...4) \cdot \sum T_i = (2...4) \cdot (T_{п,Р} + T_{д,Р}) = 2 \cdot (0,0034 + 0,001) = (0,0088...0,0176) \text{ с.}$$

Примем $T_{рс} = 0,088 \text{ с.}$ тогда

$$K_{РС} = \frac{T_{д,Р}}{T_{рс}} = \frac{0,035}{0,0088} = 4,$$

$$T_1 \geq (2...4)T_{рс} = (0,0176...0,352) \text{ с.}$$

Примем постоянную времени $T_1 = 0,018 \text{ с.}$ при которой достигается максимальное быстродействие при минимуме перерегулирования:

$$T_1 = 0,09 \text{ с.}$$

тогда

$$T_2 = \frac{T_1}{K_{РС}} = \frac{0,09}{4} = 0,0225 \text{ с.}$$

4. АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПОЛУЦИЛИНДРОВ

4.1 Выбор датчиков технологической информации

4.1.1 Выбор датчика расстояния

Датчики для измерения расстояния могут использовать различные принципы измерений: индуктивный, ультразвуковой или оптический. Принцип действия индуктивного датчика расстояния основан на токах взаимной индукции, ультразвукового – на излучении импульсов ультразвука и измерении расстояния до объекта измерения, отразившись от которого звуковой импульс возвращается обратно в датчик. В настоящее время среди оптических датчиков расстояния можно выделить датчики радарного и триангуляционного типов. Принцип действия оптического датчика радарного типа основан на измерении времени распространения света от датчика до объекта и обратно. Принцип действия оптического датчика триангуляционного типа: лазер посылает через линзу луч, который отражается от объекта и фокусируется на линейке из фотодиодов, которая преобразует световой сигнал в электрический. Всякое изменение расстояния до объекта вызывает изменение угла отраженного луча и, следовательно, позиции, которую отраженный луч занимает на линейке фотодиодов. Все датчики расстояния имеют электрический выходной сигнал, величина которого пропорциональна расстоянию до измеряемого объекта. В таблице 3.1 представлены основные типы аналоговых бесконтактных датчиков для измерения расстояний и их технические характеристики.

Требования системы измерения можно сформулировать следующие:

$$R_{\text{раб}} = R_{\text{п}} - l_{\text{м}} = 600 - 220 = 380 \text{ мм}, \quad (4.1)$$

						<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	13.04.02.2017.226.ПЗ	

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ датчиков расстояния

	Индуктивные	Ультразвуковые	Оптические	
			Триангуляционные	Радарные
Расстояние	0... 20 мм	10 мм...10 м	10... 1000 мм	10 мм... 1,1 км
Разрешение	0,1 мкм	0,1 мм	1 мкм	0,5 мм
Точность	1 мкм	0,2 мм	2 мкм	2 мм
Время, мс	0,3	20	0,5	1

где R_n – радиус полуцилиндра;

$l_{шт}$ – длина штанги.

Время измерения: 0,5 мс.

Из таблицы 3.1 видно, что данные требования может обеспечить оптический датчик триангуляционного типа.

По каталогу [7] выберем датчик производства фирмы «Sick» OD350-100T1, характеристики которого представлены в таблице 4.2. Для датчика выбран усилитель типа AOD-N1, характеристики которого представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Технические характеристики триангуляционного датчика OD350-100T1

Параметр	Единица измерения	Значение
Рабочий диапазон	мм	350±100
Точность	мкм	150
Разрешение	мкм	50
Масса	кг	0,25
Степень защиты	-	IP67

Таблица 4.3 – Технические характеристики усилителя AOD-N1

Параметр	Единица измерения	Значение
Тип входов/выходов	-	прп
Время отклика	мс	0,5
Напряжение питания	В	12
Выходной диапазон	В	-5...+5
Интерфейс связи	-	RS232
Масса	кг	0,24
Степень защиты	-	IP20

4.1.2 Выбор абсолютного энкодера

Абсолютный энкодер располагается на быстроходном валу редуктора. За пол-оборота рабочего органа вал двигателя совершит 50 оборотов ($i_p=100$).

По каталогу [8] выберем многооборотный абсолютный энкодер фирмы «Sick» типа ATM 60 Profibus servo flange, технические характеристики которого приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Технические характеристики многооборотного абсолютного энкодера ATM 60 Profibus servo flange

Параметр	Единица измерения	Значение
Число импульсов на оборот/разрешение	-	8192
Погрешность	-	$\pm 0,25^\circ$
Максимальная скорость	об/мин	6000
Интерфейс связи	-	RS 485
Масса	кг	0,59
Степень защиты	-	IP 67

4.2 Выбор программируемого логического контроллера

4.2.1 Выбор центрального процессора программируемого контроллера

В настоящее время в цехе применяются программируемые логические контроллеры (ПЛК) фирмы «Siemens».

По каталогу [9] выберем ПЛК Simatic S7-300 CPU315-2DP, основные технические характеристики которого приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Основные технические характеристики ПЛК Siemens Simatic S7-300 CPU315-2DP

Параметр	Значение
Рабочая память	128 КБайт
Используемая микрокарта ММС	до 8 МБайт
быстродействие логических операций	0,1 мкс
быстродействие операций со словами	1 мкс
быстродействие арифметических операций с фиксированной точкой	2 мкс
быстродействие арифметических операций с плавающей точкой	3 мкс
Адресное пространство локального ввода/ вывода, не более	2048 Байт/2048 Байт
Дискретных каналов, не более	16384
Аналоговых каналов, не более	1024
Интерфейсы	
1-й интерфейс	
Тип	Встроенный интерфейс RS 485
Физический уровень	RS 485
Гальваническая развязка	Нет
Потребляемый ток (=15 ... 30 В), не более	200 мА

Продолжение таблицы 4.5

Функции	
MPI	Есть
PROFIBUS-DP	Нет
Последовательная связь	Нет
Количество соединений (MPI)	16
Скорость передачи данных	187,5 КБод
2-й интерфейс	
Тип	Встроенный интерфейс RS 485
Физический уровень	RS 485
Гальваническая развязка	Есть
Тип	Встроенный интерфейс RS 485
Потребляемый ток (=15 ... 30 В), не более	200 мА
Количество соединений	16
Функции	
MPI	Нет
PROFIBUS-DP	Есть
Последовательная связь	Нет
DP-Ведущее устройство	
Количество соединений	16
Скорость передачи данных, не более	12 МБод
Объем данных	244 Байт
Масса	0,29 кг
Номинальное напряжение питания	24 В

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

Лист

70

4.2.2 Выбор модулей программируемого логического контроллера

Для этого центрального процессора выберем также по каталогу [9]:

- блок питания типа PS 307 с выходным током 5А;
- модуль ввода дискретных сигналов SM321 на 32 входа;
- модуль вывода дискретных сигналов SM322 на 16 выходов.

Основные технические характеристики модулей приведены в таблицах 4.6, 4.7 и 4.8.

Таблица 4.6 - Основные технические характеристики блока питания PS 3-7

	Параметр	Значение
Номинальное входное напряжение	$U_{вх.ном}$	120/230 В
Номинальное выходное напряжение	$U_{вых.ном}$	24 В
Номинальный выходной ток	I_n	5 А
Масса	-	0,74 кг

Таблица 4.7 - Основные технические характеристики модуля ввода дискретных сигналов SM321

	Параметр	Значение
Количество входов	-	32
Номинальное входное напряжение	$U_{вх.ном}$	24 В
Оптоэлектронное разделение внешних и внутренних цепей	-	Да
Потребляемая мощность	$P_{пот}$	6,5 Вт
Масса	-	0,26 кг

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

Лист

71

Таблица 4.8 - Основные технические характеристики модуля ввода дискретных сигналов SM322

	Параметр	Значение
Количество выходов	-	16
Номинальное напряжение питания нагрузки	$U_{ном}$	24 В
Номинальный выходной ток	$I_{ном}$	0,5 А
Гальваническое разделение внешних и внутренних цепей	-	Да
Потребляемая мощность	$P_{пот}$	5 Вт
Масса	-	0,2 кг

4.3 Выбор среды разработки прикладного программного обеспечения визуализации процесса

При выборе программного продукта для проектирования системы визуализации были рассмотрены следующие:

- WinCC («Siemens»);
- DasyLAB («National Instruments»);
- LabVIEW («National Instruments»).

WinCC является компонентом человеко-машинного интерфейса в системе управления процессом Simatic. Связь с ПЛК может осуществляться по сети:

- industrial Ethernet;
- Profibus;
- MPI.

Передача данных осуществляется с помощью тэгов. Время обновления тэга от 250 мс, то есть данная среда разработки не проходит по быстрдействию, так как необходимо осуществлять прием данных через 0,5 мс.

DasyLAB и LabVIEW предназначены для разработки виртуальных

приборов, отличаются высоким быстродействием и большим набором инструментов для создания прикладного программного обеспечения. Связь с ПЛК осуществляется с помощью industrial Ethernet или Profibus.

Передача данных осуществляется через специальный драйвер «Simatic S7» в DasyLAB, и через OPC-Server или протокол TCP/IP в LabVIEW.

DasyLAB отличается более простым языком программирования, а также простотой организации связи с ПЛК. Но этот программный продукт не позволяет работать с большими массивами данных. Поэтому выберем среду разработки прикладного программного обеспечения LabVIEW, которая обеспечивает все требования, предъявляемые к программному обеспечению визуализации процесса. Системные требования данного продукта представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 Минимальные системные требования

Параметр	Значение
Процессор	P4 1,2 GHz
Оперативная память	256 MB
Видеокарта	64 MB
Жесткий диск	2 GB (для установки)

4.4 Выбор компьютера для установки контроля геометрии полуцилиндров

В соответствии с требованиями, приведенными в п.4.4 выбран промышленный компьютер Simatic Rack PC IL 40S V2 на базе процессора Pentium 4. Технические данные приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Технические данные компьютера Simatic Rack PC IL 40S

Параметр	Наименование	Техн. показатели
Процессор (тактовая частота)	Pentium 4	2,8 GHz
Оперативная память	PC 3200 Kingmax	512 MB
Видеокарта	GeForce 6600 128bit	128Mb
Жесткий диск	Seagate Barracuda	80 GB
Карта для подключения промышленных компьютеров к сетям MPI/ PROFIBUS	CP5611	до 12 Мбит/с

5. ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ

5.1 Функциональная схема установки контроля полуцилиндров

На рисунке 5.1 представлена функциональная схема установки контроля геометрии полуцилиндров.

На промышленном компьютере ПК установлена программа визуализации, с помощью которой выполняется управление режимами установки, построение сечения на экране монитора и осуществляется работа с архивом.

Программируемый логический контроллер ПЛК, при получении соответствующих сигналов с промышленного компьютера, формирует сигналы задания преобразователей частоты двигателя датчика ПЧ1 и двигателя тележки ПЧ2. Так же с помощью программы контроллера осуществляется расчет величины периметра и разъема.

Угол поворота датчика положения ДП определяется абсолютным энкодером ВQ1, расположенным на валу двигателя датчика М1. Положение тележки определяется абсолютным энкодером ВQ2.

										Лист
										75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ					

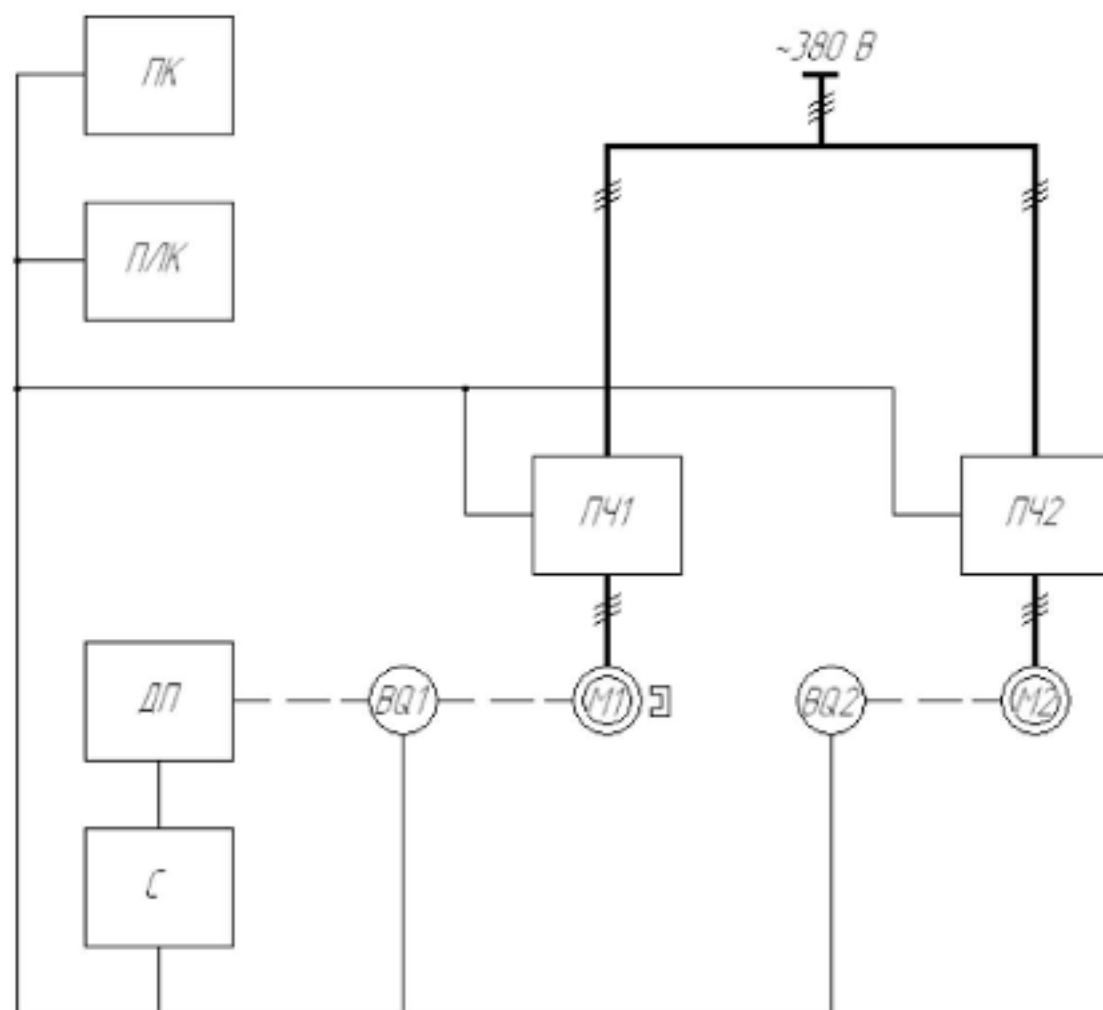


Рисунок 5.1 – Функциональная схема установки контроля геометрии полуцилиндров: ПК – промышленный компьютер; ПЛК – программируемый логический контроллер; ПЧ1 – преобразователь частоты электропривода датчика; ПЧ2 – преобразователь частоты электропривода тележки; ДП – лазерный датчик положения; М1 – серводвигатель привода датчика; М2 – асинхронный двигатель привода тележки; BQ1 – абсолютный энкодер, расположенный на валу двигателя датчика; BQ2 – абсолютный энкодер, расположенный на валу двигателя тележки; С – соединитель DP/RS232C

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2017.226.ПЗ

Лист

76

5.2 Алгоритм программы логического контроллера

Алгоритм программы логического контроллера представлен на рисунке 5.2. Алгоритм состоит из основных частей: готовность установки, передвижение тележки и сечение.

В подпрограмме «Готовность установки» проверяется готовность функциональных узлов (преобразователи частоты, лазерный датчик положения) и положение тележки. Если все условия выполнены, формируется сигнал общей готовности установки.

В подпрограмме «Передвижение тележки» после снятия сечения проверяется количество снятых сечений n с заданным N . Если $n < N$, то подается сигнал задания на движение вперед электропривода тележки. При достижении тележкой требуемого положения сигнал задания снимается, установка готова для снятия очередного сечения. Если $n = N$, то подается сигнал задания движения в начальное положение тележки, при достижении которого выдерживается пауза 90 с для подачи следующего полуцилиндра, после чего начинается следующий цикл.

В подпрограмме «Сечение» осуществляется расчет периметра p снимаемого сечения, а также величины разъема R и угла δ , между осью симметрии и вертикалью. Более подробно алгоритм рассмотрен ниже.

										Лист
										77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.04.02.2017.226.ПЗ					

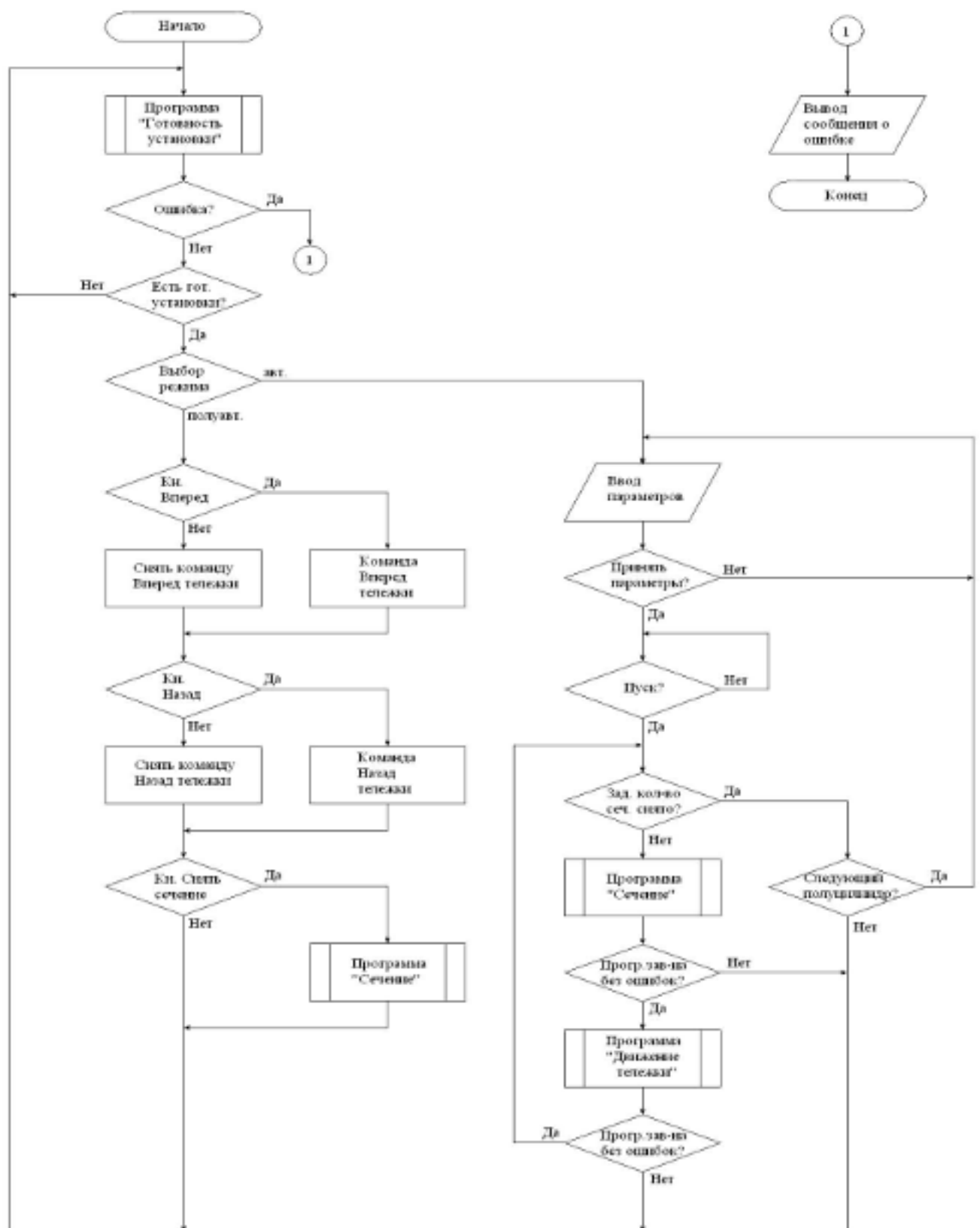


Рисунок 5.2 – Алгоритм программы логического контроллера

5.2.1 Алгоритм программы «Сечение»

Для расчета периметра разобьем сечение полуцилиндра на $(i-1)$ отрезков, где i – количество снимаемых точек. На рисунке 5.3 представлен i -ый отрезок, его длина, по теореме косинусов

$$p_i = \sqrt{r_i^2 + r_{i-1}^2 - 2 \cdot r_i \cdot r_{i-1} \cdot \cos|\alpha_i - \alpha_{i-1}|}. \quad (5.1)$$

Тогда

$$P = \sum_{i=2}^{8000} p_i. \quad (5.2)$$

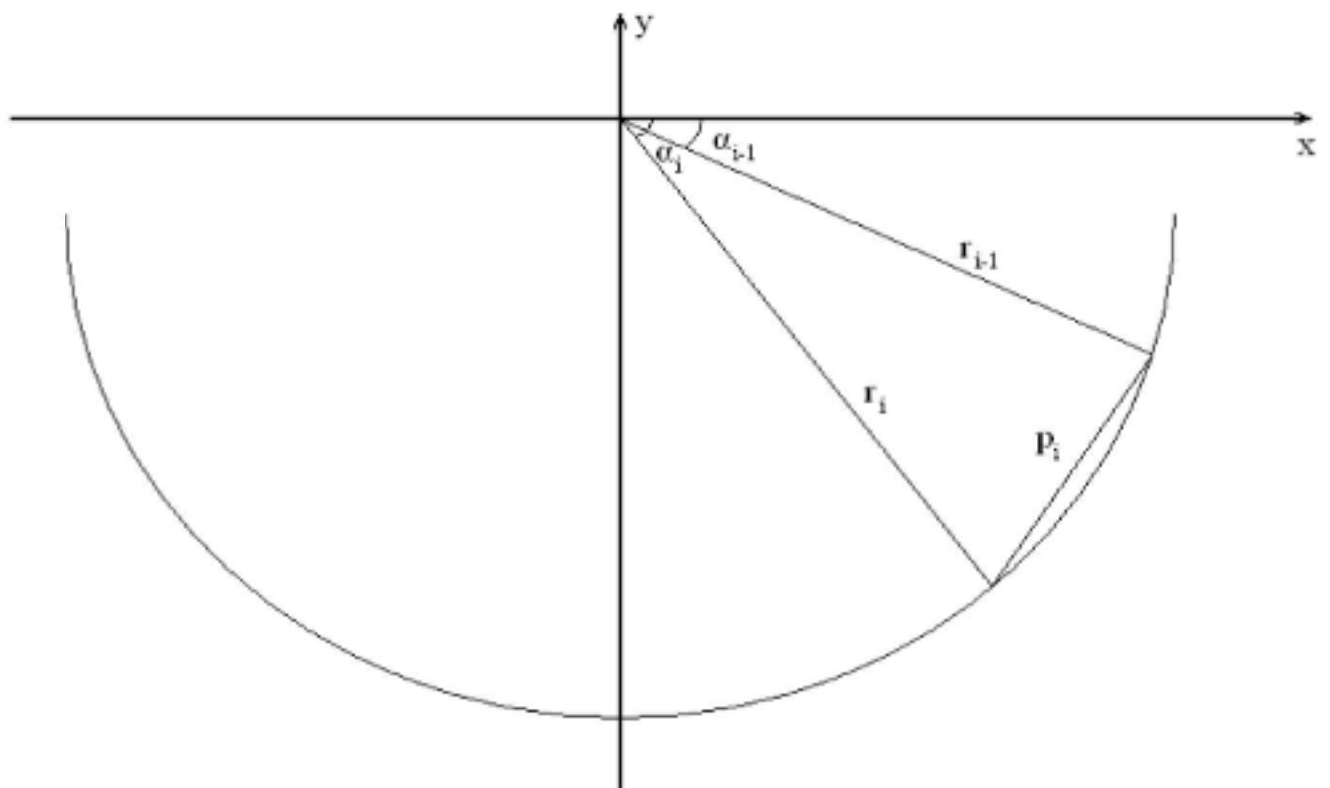


Рисунок 5.3 – Расчет периметра сечения полуцилиндра

Величину разъема определим по формуле (5.1)

$$R = \sqrt{r_n^2 + r_k^2 - 2 \cdot r_n \cdot r_k \cdot \cos|\alpha_n - \alpha_k|},$$

где r_n , α_n – координаты первой точки сечения,

r_k , α_k – координаты последней точки сечения.

Угол δ , между осью симметрии сечения и вертикалью (рисунок 5.4)

$$\delta = 90^\circ - \alpha_n - \arcsin \frac{R}{2 \cdot r_n}. \quad (5.3)$$

Алгоритм программы «Сечение» приведен на рисунке 5.5.

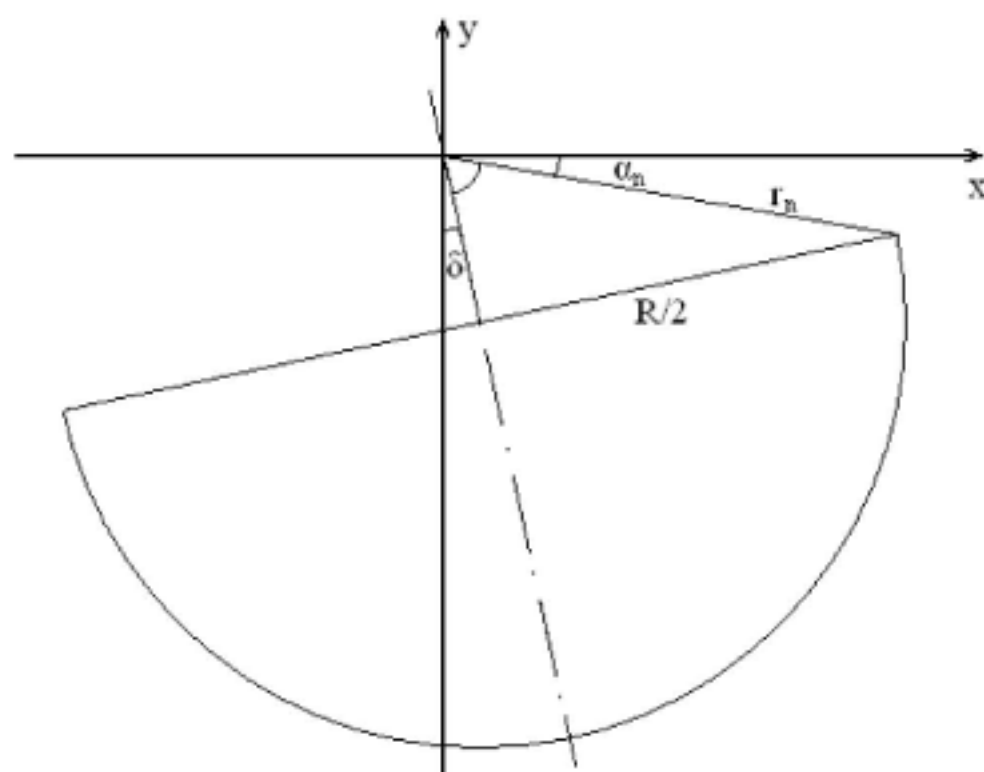


Рисунок 5.4 – Определение угла δ

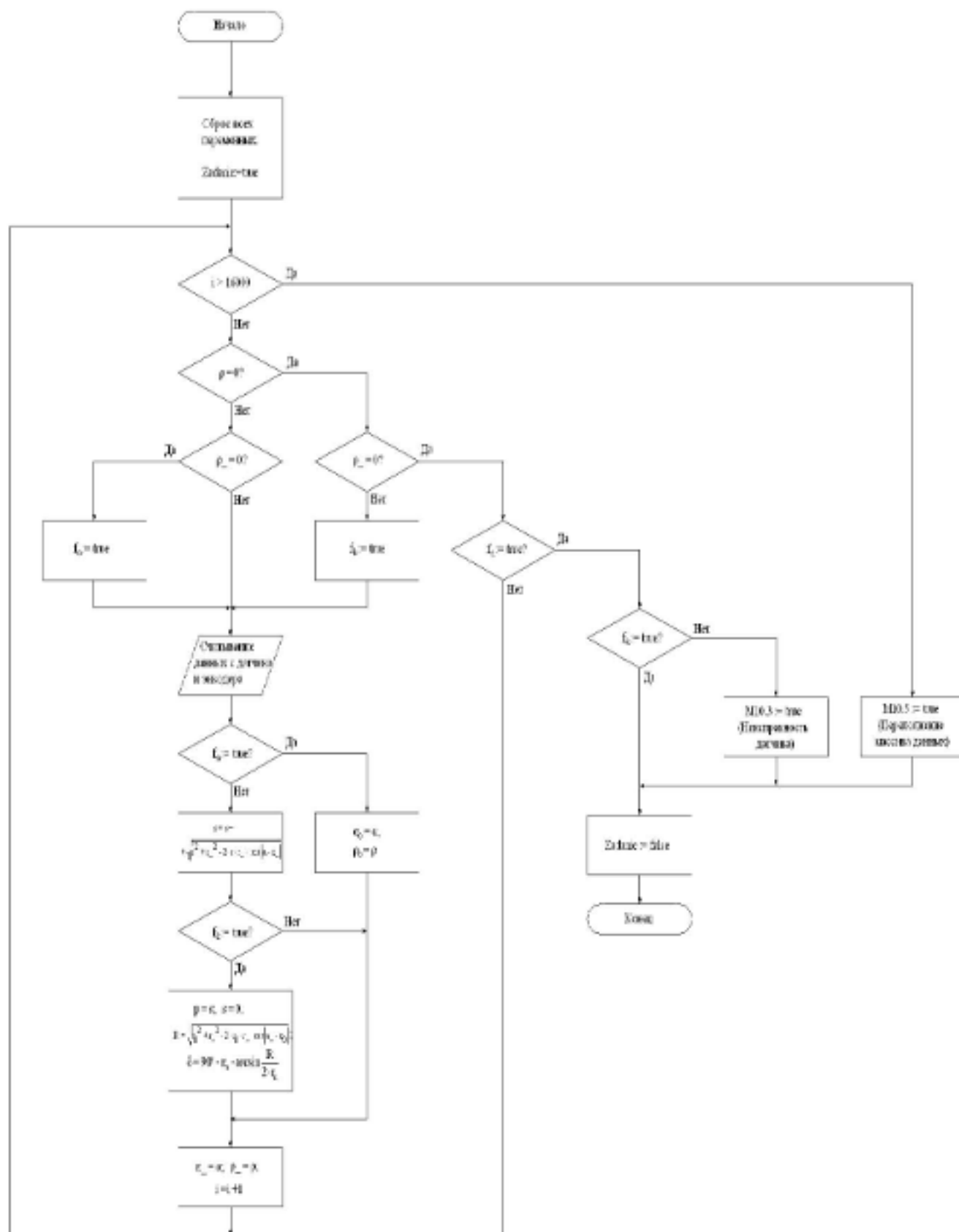


Рисунок 5.5 – Алгоритм программы «Сечение»

5.3 Алгоритм программы визуализации

Алгоритм программы визуализации представлен на рисунке 5.6.

В программе визуализации возможны два режима работы: в реальном времени и с архивом.

При работе в реальном времени считываются координаты с энкодера и датчика расстояния, сохраняются в массив $Koog$ и строятся точки сечения. При получении с контроллера метки последней точки сечения ($f_k = true$) ко элементам второго столбца массива $Koog$ прибавляется δ , после чего строится сечение, развернутое относительно оси симметрии с нанесением поля допусков.

При выборе оператором окна «Сводная таблица» на экран монитора выводятся периметр, разъем и угол δ снятых сечений текущего полуцилиндра.

При работе с архивом оператор выбирает загружаемый файл, после чего строится сечение.

					13.04.02.2017.226.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

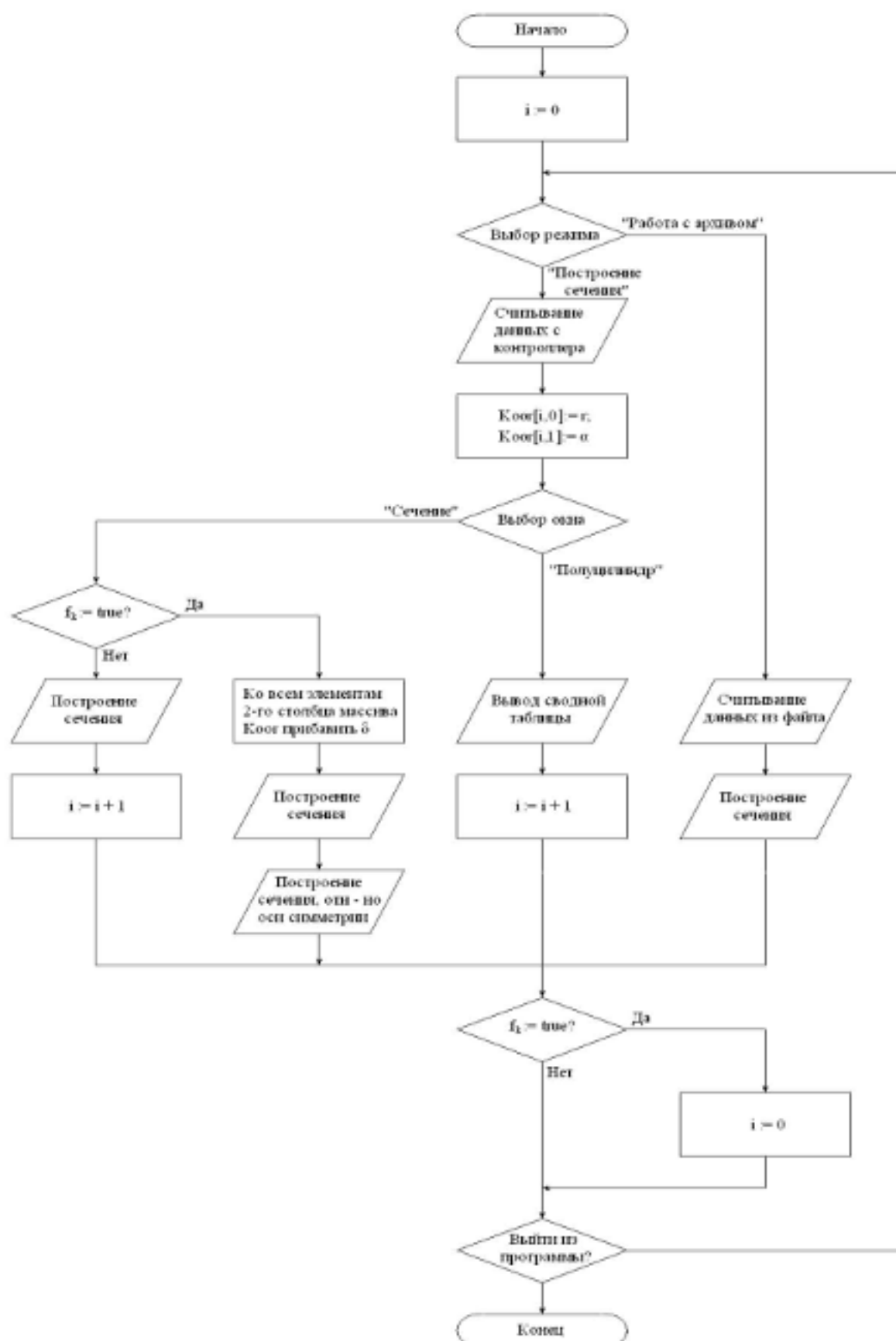


Рисунок 5.6 – Алгоритм программы визуализации

6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

6.1 Введение в экономическую часть

В экономической части проекта проведены расчеты затрат на реализацию разработки, прироста прибыли и срока окупаемости.

6.2. Расчет затрат на реализацию разработки

Внедрение любых усовершенствований в производственное оборудование предполагает определенные затраты. Для реализации проекта необходимы определенные трудовые затраты, для выполнения части работ было принято решение воспользоваться услугами подрядных организаций, работы проекта, выполняемые сотрудниками предприятия, оцениваются дополнительной премией сотрудникам, в размере 20% от установленного оклада.

Расходы по статье «Дополнительная премия работникам предприятия, задействованных в реализации проекта»

$$Z_{\text{пр}} = k_n \cdot Z_o, \quad (6.1)$$

где $k_n = 0,2$ – коэффициент премиальных выплат;

Z_o – основная заработная плата (с учетом уральского коэффициента) в соответствии с тарифной сеткой.

Начисления на дополнительную премию складываются из следующих отчислений:

- в пенсионный фонд (14 %);
- в федеральный фонд в части единого социального налога (6 %);
- в фонды социального и медицинского страхования (8 %);
- в фонд социального страхования от несчастных случаев и

профессиональных заболеваний (2,2 %).

Таким образом, начисления на дополнительную премию принимаются равными 30,2 %:

$$U_{ii} = 30,2\% \cdot Z_{\text{ин}} \quad (6.2)$$

Расчет затрат, связанных с реализацией проекта, в части выплаты дополнительной премии приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Затраты на выплату дополнительной премии

Должность	Наименование работ	Оклад, тыс руб	Трудоемкость, дн	Дополнительная премия, тыс руб	Отчисления ЕСН, тыс руб	Итого затрат по статье, тыс руб
Начальник лаборатории автоматизации	Разработка технического задания	28	10	2,55	0,77	3,31
Инженер	Расчет механической и электрической части установки	12	120	13,09	3,95	17,04
	Пусконаладочные работы	12	30	3,27	0,99	4,26
	Разработка программы контроллера	12	30	3,27	0,99	4,26
	Разработка программы визуализации	12	30	3,27	0,99	4,26
Электромонтер	Монтажные работы	9,8	60	5,35	1,61	6,96
Итого затрат, связанных с выплатой премии:				30,80	9,30	40,10

Для внедрения установки необходима платформа для передвижения датчика. Для производства и монтажа специальной платформы привлечена подрядная организация ООО «Металком – Строй», услуги которой расцениваются в размере 300 тыс.руб.

Основной статьей затрат, связанных с внедрением разрабатываемой установки, являются затраты на оборудование. Затраты на оборудование приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Затраты на оборудование с учетом транспортно-заготовительных расходов

Наименование прибора	Цена, тыс. руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, тыс. руб.
Силовая часть			
Двигатель 5A80MBS	4,30	1	4,30
Серводвигатель 75LMA200	60,00	1	60,00
Преобразователь частоты Unidrive SP 1401	29,30	2	58,60
Измерительные приборы			
Датчик расстояния OD350-100T1	51,49	1	51,49
Абсолютный энкодер АТМ60	20,54	2	41,08
Программируемый логический контроллер			
Simatic S7-300 CPU	44,00	1	44,00
Модуль цифровых входов SM 321	8,80	1	8,80
Модуль цифровых выходов SM 322	10,60	1	10,60
Блок питания PS 307	4,49	1	4,49
Промышленный компьютер			
Simatic Rack PC IL 40S V2	78,56	1	78,56
PCI карта Profibus CP5611	13,45	1	13,45
Монитор плазменный	7,20	1	7,20
Итого:			382,56

Таким образом, для реализации проекта ввода установки для контроля геометрии полуцилиндров за прессом окончательной формовки П-753 включает несколько видов затрат. Постатейный перечень расходов на реализацию проекта и их итоговая сумма приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Расходы на внедрение установки для контроля геометрии полуцилиндров

Статья затрат	Сумма, тыс.руб.
Расходы на выплату премии сотрудникам, задействованным в реализации проекта	40,10
Оплата услуг подрядной организации, занимающейся производством и установкой платформы	300,00
Оплата услуг подрядной организации, занимающейся строительством помещения оператора	350,00
Затраты на оборудование с учетом транспортно-заготовительных расходов	382,56
Итого затрат:	1 072,66

Таким образом, затраты, связанные с внедрением установки для контроля геометрии полуцилиндров, позволяющей усовершенствовать качество производимой продукции, составят 1 072 660 рублей.

6.3. Расчет прироста прибыли предприятия от усовершенствования качества производимой продукции

Усовершенствование качества продукции является ключевым фактором успеха в условиях рыночной конкуренции. Соответствие характеристик соединительных отводов трубопровода определенным параметрам качества, предъявляемым потребителем, позволит освоить новые рынки, утвердить позиции на существующих. Это в свою очередь повлечет увеличение объемов

отгрузки, размеров выручки, и, как следствие, сумму чистой прибыли.

На основе результатов исследований, проведенных службами маркетинга и сбыта, можно сделать вывод, что улучшение качества поставляемой трубы позволит, по меньшей мере, возобновить контракты с нефтегазовым комплексом Саудовской Аравии. По контракту только с контрагентами Саудовской Аравии отгрузка трубопроката составит 18 000 тонн. Следовательно, отгрузка по вышеуказанным договорам составит около 1 500 тонн трубы в месяц.

Для расчета прироста прибыли, полученного вследствие внедрения предлагаемых усовершенствований, необходимо оценить прибыльность 1 тонны отгруженного трубопроката.

Цена 1 тонны отгруженной трубы (P) составляет в среднем 31,30 тыс. рублей. Себестоимость 1 тонны (C), в том числе общехозяйственные и коммерческие расходы, составляет 29,38 тыс. рублей. Прибыль до налогообложения с 1 тонны отгруженной продукции ($Pf_{но}$) можно рассчитать по формуле 6.3.

$$Pf_{но} = P - C, \quad (6.3)$$

$$Pf_{но} = 31,30 - 29,38 = 1,92 \text{ тыс. руб.}$$

Прибыль остающаяся в распоряжении предприятия после уплаты налога на прибыль (24%) ($Pf_{ч}$) рассчитывается по формуле 6.4.

$$Pf_{ч} = (P - C) - (P - C) \cdot 0,24, \quad (6.4)$$

$$Pf_{ч} = 1,92 - 1,92 \cdot 0,24 = 1,46 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, прибыльность 1 тонны трубопроката составит 1 460 рублей. Следовательно, учитывая прирост объемов продаж (ΔV), равный 1 500 тонн в месяц, можно рассчитать прирост чистой прибыли ($\Delta Pf_{ч}$) по формуле 6.5.

$$\Delta Pf_{ч} = \Delta V \cdot \Delta Pf_{ч}, \quad (6.5)$$

$$\Delta Pf_q = 1500 \cdot 1,46 = 2\,190 \text{ тыс.руб.}$$

Внедрение предложенных мероприятий позволит предприятию охватить новые рынки, из которых отгрузка только на один сегмент составит около 1 500 тонн в месяц, что будет соответствовать определенному приросту прибыли в размере 2 190 000 рублей в месяц. Так как по вышеуказанному контракту предполагается отгрузить 18 000 тонн за год, годовой прирост прибыли вследствие ввода установки для контроля геометрии полуцилиндров за прессом окончательной формовки П-753 составит $18\,000 \cdot 1,46 = 26\,280$ тыс.рублей.

Немаловажным показателем оценки эффективности затрат на внедрение какого либо проекта является срок окупаемости, то есть период времени, по истечении которого результаты проекта окупят все расходы, связанные с усовершенствованиями, начнут приносить чистую прибыль. Срок окупаемости (D) рассчитывается по формуле 6.6.

$$D = \frac{Z}{\Delta Pf_q}, \quad (6.6)$$

где D – срок окупаемости проекта, лет;

Z – совокупные затраты связанные с внедрением проекта, тыс. руб.;

ΔPf_q – годовой прирост чистой прибыли в результате внедрения проекта, тыс. руб.

$$D = \frac{1072,66}{26280} = 0,041 \text{ лет.}$$

Следовательно, ввиду невысоких затрат на внедрение предложенных решений и высокой прибыльности производимой продукции, проект окупится через 0,041 лет, что соответствует 15 дням.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта разработана установка контроля геометрии полуцилиндров за прессом окончательной формовки П-753 стана 1020-1220. В дипломном проекте описан технологический процесс, проведен синтез силовой части системы и системы регулирования электропривода, приведены алгоритмы контроля геометрии полуцилиндров и техническая реализация системы. Рассмотрены вопросы техники безопасности при эксплуатации установки и вопросы экономики.

- выбран серводвигатель электропривода датчика расстояния 75UMA200 Unimotog мощностью 230 Вт;

- выбран электродвигатель механизма передвижения тележки 5A80MB8 мощности 550 Вт;

- выбраны преобразователи частоты Unidrive SP1401;

- рассчитаны статические характеристики систем электропривода;

- рассчитаны координаты электроприводов, обеспечивающие работу в заданных точках;

- проведен расчёт переходных процессов;

- проведена проверка двигателей и преобразователей по нагреву и перегрузочной способности;

- настроен контур регулирования момента, в котором применен пропорционально-интегральный регулятор с постоянными времени $T_3=0,0015$ с, $T_4=0,018$ с;

- настроен контур регулирования скорости, в котором применен пропорционально-интегральный регулятор с постоянными времени $T_1=0,09$ с, $T_2=0,0225$ с;

- выбраны элементы автоматизации (датчики технологической

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

информации, программируемый логический контроллер, промышленный компьютер);

- разработан алгоритм программируемого логического контроллера;
- разработан алгоритм промышленного компьютера.
- рассчитана себестоимость установки, которая составила – 1 072,66 тысяч рублей;
- срок окупаемости затрат на разработку и внедрение составляет 15 дней.

					13.04.02.2017.226.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		91

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драчев Г. И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998.

2. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985, - 560с., ил.

3. Владимирский электромоторный завод: Технический электронный каталог, 2003.

4. Control Techniques. Unidrive SP, Servo & Unimotor: Product Data, 2004.

5. ЗАО «НТЦ Редуктор»: Технический каталог, 2004.

6. Усынин Ю. С. Системы управления электроприводов: Учеб. пособие. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2001. - 358 с.

7. Триангуляционные датчики расстояния «Sick»: электронный каталог.

8. Датчики положения «Sick»: электронный каталог.

9. Электронный каталог продуктов Siemens A&D CA01, 2004.

10. *Электротехника: Учебное пособие для вузов. - В 3-х книгах. Книга II. Электрические машины, Промышленная электроника, Теория автоматического управления/ Под ред. П. А. Бутырина, Р. Х. Гафиатулина, А. Л. Шестакова. -

									13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						92

Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 711 с.

11. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. Заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1974 – 840 с.

12. Экономика предприятия: Учебник для вузов. Под ред. В. П. Грузинова – М., 1998 – 535 с.

13. Санитарно-эпидемиологические требования к персональным машинам и организации работы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 424 с.

					13.04.02.2017.226.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93