

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»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_/А.Н. Шишков/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автоматизированный электропривод направляющего механизма  
непрерывно-заготовочного стана

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОМУ  
КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ**

**ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.00 ВКП**

*Руководитель проекта:*  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/А.Н. Горожанкин/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

*Автор проекта*  
*студент группы* \_\_\_\_\_ П-476 \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_/Д.С. Мальнев/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

*Нормоконтролер:*  
Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_/Т.А. Функ/

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Челябинск 2017 г.

## АННОТАЦИЯ

Мальнев Д.С. «Автоматизированный электропривод направляющего механизма непрерывно-заготовочного стана». - Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2017, 78 с., 28 ил., 17 табл. Библиографический список – 20 наим., 1 лист чертежа ф. А3.

Предложенный автоматизированный привод участка транспортировки позволяет управлять подающим и пакетирующими рольгангами в ручном и автоматическом режиме. Проводится расчет нагрузок, на основе которых выбраны двигатели, представлена разработка алгоритма автоматизации управления объектом.

Для данного режима работы выбрана система управления двигателями, а также управляющий блок для всей системы автоматизации. После выбора рабочих и управляющих органов подобрано оборудование, необходимое для реализации разработанного проекта.

В качестве пульта управления оператора выбрана стационарная сенсорная панель.

					<b>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Мальнев Д.С.				Автоматизированный электропривод направляющего механизма непрерывно-заготовочного стана	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Горожанкин						4	78
Реценз					<b>ЮУрГУ Кафедра «АЭП»</b>			
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Шишков А.Н.							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ .....	10
1.1 Цель проекта.....	10
1.2 Описание технологического процесса.....	10
1.3 Оборудование и процесс .....	12
1.4 Требования, предъявляемые к разрабатываемой системе автоматического управления .....	13
1.5 Общие сведения о транспортных рольгангах .....	14
2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ МЕХАНИЗМОВ .....	18
2.1 Общие требования .....	18
2.2 Требования, предъявляемые к электроприводу рольганга.....	18
3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕХАНИЗМА, РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ .....	23
3.1 Определение момента статического сопротивления .....	23
3.1.1 Выбор редуктора.....	23
3.1.2 Расчет моментов .....	24
3.2 Выбор двигателя .....	27
3.2.1 Определение момента номинального двигателя .....	27
3.2.2 Определение номинальной скорости двигателя.....	27
3.2.3 Определение номинальной мощности двигателя.....	27
3.3 Выбор рода тока, типа электродвигателя и преобразовательного агрегата.....	28

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

3.3.1	Выбор рода тока.....	28
3.3.2	Выбор типа электродвигателя.....	29
3.3.3	Построение механической характеристики асинхронного двигателя.....	31
3.3.4	Выбор преобразовательного агрегата.....	34
3.3.5	Выбор преобразователей .....	34
3.3.6	Выбор преобразователя для подающего рольганга .....	38
3.3.7	Выбор преобразователя для пакетирующих рольгангов.....	39
3.3.8	Выбор преобразователя для перекидной линейки .....	39
4	ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ.....	41
4.1	Описание процесса пакетирования заготовок .....	41
4.2	Общие требования к АСУ .....	42
5	ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУ ТП).....	44
6	ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ МНЛЗ.....	46
7	РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ.....	48
7.1	Режимы работы системы.....	48
7.2	Формулировка выходных команд .....	48
7.3	Команды индикации и сигнализации .....	48
7.4	Элементы управления пульта оператора.....	49
7.5	Элементы, предоставляющие информацию о состоянии объекта ....	49
7.6	Таблица сигналов и команд, используемые в системе автоматизации .....	50

7.7 Составление логических уравнений в командах .....	51
8 ВЫБОР АППАРАТУРЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ И ЭЛЕМЕНТОЙ БАЗЫ .....	54
8.1 Выбор управляющего устройства .....	54
8.1.1 Общие сведения .....	54
8.2 Выбор датчиков.....	56
8.3 Выбор сенсорного монитора .....	57
8.4 Выбор источников питания .....	58
9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	62
10 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	66
11 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	77

ПРИЛОЖЕНИЯ:

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированный электропривод (АЭП) – электрический привод, в котором регулирование режимов работы осуществляется при помощи устройств автоматического управления в соответствии с требованиями производственного процесса. Для управления АЭП применяют силовые преобразователи, бесконтактные системы управления, микропроцессоры, программируемые контроллеры и др. средства автоматизации.

В металлургической промышленности широко внедрено автоматизированное управление процессами запуска/остановок рольганговых линий. В основу централизации управления положен принцип автоматического пуска/торможения рольганга в линии с контролем моментов каждого рольганга, контролем по скорости и остановки линии одновременным отключением аварийных рольгангов.

Автоматизация предусматривает оснащение средствами автоматического контроля и управление, как отдельными рольгангами, так и всей линией.

Под автоматизированной рольганговой линией понимается такая линия, рольганги которой объединены общей системой управления, обеспечивающей соблюдение необходимых блокировок и защит, а также автоматическую реализацию законов пуска, остановки и дозапуска линии.

Основными факторами, влияющими на процесс автоматизации рольганговых линий, являются: разнообразие технологических схем линий по конфигурации, длине, числу рольгангов и ответвлений; разнотипность рольгангов по их технологическому назначению, производительности, конструктивному исполнению, длине и динамическим характеристикам; разнотипность приводов рольгангов по числу и типу двигателей и т.д.

Чтобы система АЭП удовлетворяла всем предъявляемым к ней требованиям, необходимо при проектировании учитывать большое число различных факторов, то есть использовать системный подход к решению задачи.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

В данном проекте автоматизация будет построена на программируемом логическом контролере *SIMATIC S7-300* фирмы *SIEMENS*, который обладает характеристиками, достаточными для управления объектом.

Для создания человеко-машинного интерфейса (*HMI*) и решения задач оперативного управления будет использован пульт управления, на котором оператор сможет выбирать необходимый режим работы, осуществлять запуск механизма, определять причину возникновения аварии и т.д.

Контроль положения механизмов будет осуществляться индуктивными и оптическими датчиками.

Для приведения механизмов в движения будут использованы асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором фирмы «Кранрос», управление которыми будем осуществлять преобразователями частоты *Unidrive M700* фирмы «*Control Techniques*».

Внедрение системы автоматизации данными механизмами позволит оптимизировать управления им и уменьшить роль оператора в процессе управления.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

# 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ

## 1.1 Цель проекта

Необходимо модернизировать участок непрерывно-заготовочного стана машины непрерывного литья заготовок, а в частности, разработать систему автоматического управления подающим и пакетирующими рольгангами на современном оборудовании.

## 1.2 Описание технологического процесса

Машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) – машина для разливки стали, обеспечивающая непрерывный перевод жидкой стали, находящейся в сталеразливочном ковше, в твердое состояние в виде заготовок определенной геометрической формы. Процесс разливки металла на МНЛЗ обеспечивает последовательную (без остановок) разливку определенного количества ковшей, подаваемых от сталеплавильных агрегатов, а получаемая заготовка при этом разрезается на мерные длины в соответствии с требованиями потребителей и затем отправляется на перекат в соответствующие прокатные цехи. На рисунке 1.1 представлен общий вид МНЛЗ.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10





Рисунок 1.1 – Общий вид МНЛЗ

Различают 3 конструкции МНЛЗ:

- вертикальные;
- с изгибом;
- радиусные.

По количеству ручьёв МНЛЗ разделяют на 1-8 ручьевые.

В зависимости от размера слитка МНЛЗ делятся на:

- слябовые;
- блюмовые;
- заготовочные.

При непрерывном методе разливки жидкая сталь заливается в кристаллизатор, под влиянием водоохлаждаемых стенок которого начинается первичное охлаждение. Выходящая из кристаллизатора заготовка с жидкой сердцевиной интенсивно охлаждается (вторичное охлаждение). После затвердевания по всему сечению заготовка разрезается на мерные длины. Таким образом, непрерывная разливка позволяет получать непосредственно из жидкой стали полупродукт, готовый для прокатки на чистовых станках [1].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 1.3 Оборудование и процесс

МНЛЗ состоит из:

1. Сталеразливочный стенд;
2. Промежуточный ковш;
3. Кристаллизатор;
4. Зона вторичного охлаждения (ЗВО);
5. Тянуще-правильная машина (ТПМ);
6. Машина для резки заготовок;
7. Оборудование для перемещения и разгрузки слитка.

Сталеразливочный стенд – предназначен для размещения на нем сталеразливочных ковшей, передачу их из резервного положения в положение разливки и обратно, обеспечения серийной разливки, подъема и опускания ковшей при разливке, а также для непрерывного взвешивания ковшей с металлом.

Промежуточный ковш – обеспечивает поступление металла в кристаллизатор с определенным расходом хорошо организованной струей, позволяет разливать сталь в несколько кристаллизаторов одновременно и осуществлять серийную разливку методом «плавка на плавку» при смене сталеразливочных ковшей без прекращения и снижения скорости разливки; промежуточный ковш является буферной емкостью, так как с его помощью согласовывается поступление металла из сталеразливочного ковша в кристаллизатор.

Кристаллизатор – предназначен для приема жидкого металла, формирования слитка заданного сечения и первичного его охлаждения (выполняется из меди и охлаждается в процессе разливки водой).

Зона вторичного охлаждения (ЗВО) – позволяет создать оптимальные условия для полного затвердевания непрерывно отливаемого слитка, обеспечивающие равномерное охлаждение заготовки (распыления воды форсунками, поддержание ее геометрической формы роликами (предотвращение выпучивания) и требуемое качество металла.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

Тянуще-правильная машина (ТПМ) – предназначена для вытягивания литой заготовки из кристаллизатора, выпрямления ее на радиальных и криволинейных устройствах и подачи к машине (механизму) для резки; ТПМ обеспечивает подачу затравки в кристаллизатор, удержание ее в кристаллизаторе на время уплотнения зазоров, вытягивание с непрерывнолитой заготовкой из кристаллизатора, отделение головки затравки от заготовки и т.п.

Машина (механизм) для резки заготовок – обеспечивает разделение непрерывнолитого металла на мерные длины в соответствии с требованиями потребителей.

Оборудование для перемещения и разгрузки заготовок – система для перемещения и разгрузки заготовок, состоящая из транспортных рольгангов [2].

#### 1.4 Требования, предъявляемые к разрабатываемой системе автоматического управления

Система автоматического управления подающего и пакетирующих рольгангов должна удовлетворять следующим требованиям:

– программное обеспечение АСУТП должно иметь гибкую структуру, давать возможность легко адаптироваться к изменениям характеристик технологических процессов, обеспечивать модификацию алгоритмов решения задач и наборов, участвующих в них переменных, переконфигурирование схем регулирования и управления;

– на стадии подготовки спецификаций проекта необходимо предусмотреть достаточные резервы по оперативной и дисковой памяти, а также по быстродействию микропроцессорных устройств и промышленных сетей, которые (резервы) потребуются для развития функций Системы [3].

## 1.5 Общие сведения о транспортных рольгангах

В прокатных цехах с поточностью технологического процесса рольганги служат для перемещения слитков и проката вдоль цеха от одной технологической установки к другой. Они характеризуются большой общей протяженностью и значительной массой, составляющей иногда 20-30 % от общей массы механического оборудования прокатного цеха.

По назначению рольганги делятся на транспортные, служащие для перемещения по цеху, и рабочие, расположенные непосредственно у клетки прокатного стана и предназначенные для подачи прокатываемого металла к валкам и отвода от валков.

По способу действия транспортные рольганги делятся на приводные и не приводные; рабочие рольганги выполняют только с приводом. В приводных рольгангах применяют групповые и индивидуальные приводы роликов. При тяжелых условиях работы рольганги выполняют с групповым приводом на каждую секцию, состоящую из 4-10 роликов и более, от одного электродвигателя через конические шестерни и трансмиссионный вал. Вследствие быстрого износа конических шестерен, трудоемкости смены роликов и трансмиссионного вала в последнее время начали применять на обжимных и крупносортовых станах рольганги с групповым приводом от встроенных или отдельных редукторов с цилиндрическими приводными шестернями, чередующимися с паразитными промежуточными шестернями.

Для транспортных рольгангов, предназначенных для перемещения длинных заготовок металла после прокатки, широко применяют ролики с индивидуальным приводом от отдельного электродвигателя. В не приводных рольгангах движение груза происходит под действием составляющей веса при наклонной установке рольганга (гравитационный рольганг).

Транспортный рольганг с групповым приводом, служащий для подачи горячих слитков к листовым прокатным станам, показан на рисунке 1.2(а).

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Рама рольганга состоит из отдельных секций с неприводной 1 и приводной 8 сторонами. Секции, выполненные из стального литья, соединены в продольном направлении болтами и шпонками, а в поперечном – стяжными болтами 7 и распорными стальными литыми траверсами 9. С приводной стороны секция 15 отлита вместе с корпусом редуктора, а остальные – с масляными ваннами. Секции этой стороны закрывают сверху отдельными чугунными крышками 5. Настильные плиты 11 с бортами перекрывают промежутки между роликами 10 и служат для направления движения слитков.

Рама рольганга установлена непосредственно на фундаменте. Ролики рольганга работают в тяжелых условиях: они находятся под воздействием высоких температур и подвергаются значительным ударным нагрузкам. Для обеспечения высокой прочности ролики выполняют большого диаметра из стали, цельноковаными или литыми вместе с шейками, сплошными или пустотелыми.

На транспортных рольгангах устанавливают 69 пустотелые ролики. Шейки ролика опираются с одной стороны на сдвоенные роликоконические подшипники 3, а с другой – на подшипник качения 2 с витыми роликами, которые заменяют сферическими двухрядными роликовыми подшипниками.

Привод роликов – групповой односторонний от электродвигателя 12 через зубчатую муфту 13, двухступенчатую цилиндрическую передачу 14 к трансмиссионному валу 17, на котором насажены шестерни 6. Такие же шестерни 4 закреплены на концах шеек роликов. Отдельные части многоопорного трансмиссионного вала соединены муфтами 16 и вращаются в подшипниках качения с витыми роликами. Осевая нагрузка от конических зацеплений воспринимается радиально упорными коническими подшипниками 18, установленными у первого ролика.

Для смазки конических и цилиндрических передач применяют жидкую смазку, которая циркулирует в ванне привода и поддерживается на постоянном уровне. К подшипникам роликов периодически подается густая смазка при помощи централизованной системы смазки.

В отличие от сложных и громоздких рольгангов с групповым приводом рольганги любой длины и с любым шагом роликов можно составить из отдельных роликов с индивидуальным приводом. Каждый ролик устанавливается на отдельной раме и может быть легко заменен.

Привод роликов осуществляют от асинхронных рольганговых электродвигателей типа АР с фланцевым исполнением на лапах или с полым валом. Скорость рольганговых двигателей регулируют изменением частоты питающего тока от специальных преобразователей.

На рисунке 1.2(б) изображен ролик 1 транспортного рольганга с приводом от быстроходного электродвигателя 4 через одноступенчатый цилиндрический редуктор 2. Статор электродвигателя установлен на подшипниках полого вала ротора и удерживается от вращения пружиной и проушиной на корпусе 3 редуктора. Пустотелый вал ротора электродвигателя насажен на приводной конец вала 5 редуктора и закреплен на нем винтом.

При непосредственном соединении применяют тихоходные электродвигатели с частотой вращения, соответствующей частоте вращения ролика. Установку электродвигателя на валу ролика выполняют с помощью полого вала или фланца. При установке фланцевого электродвигателя его статор крепят жестко на корпусе подшипника, а валы соединяют при помощи зубчатой или упругой муфт.

Расчет транспортных рольгангов с групповым и индивидуальным приводами начинают с выбора основных параметров: диаметра, длины бочки, шага и скорости вращения роликов. Диаметр и толщина стенки роликов по условиям прочности должны быть максимальными, но для облегчения пуска и торможения момент инерции роликов должен быть минимальным, что ограничивает их диаметр и толщину стенок. Диаметр роликов принимают для транспортных рольгангов 350-400 мм [4].

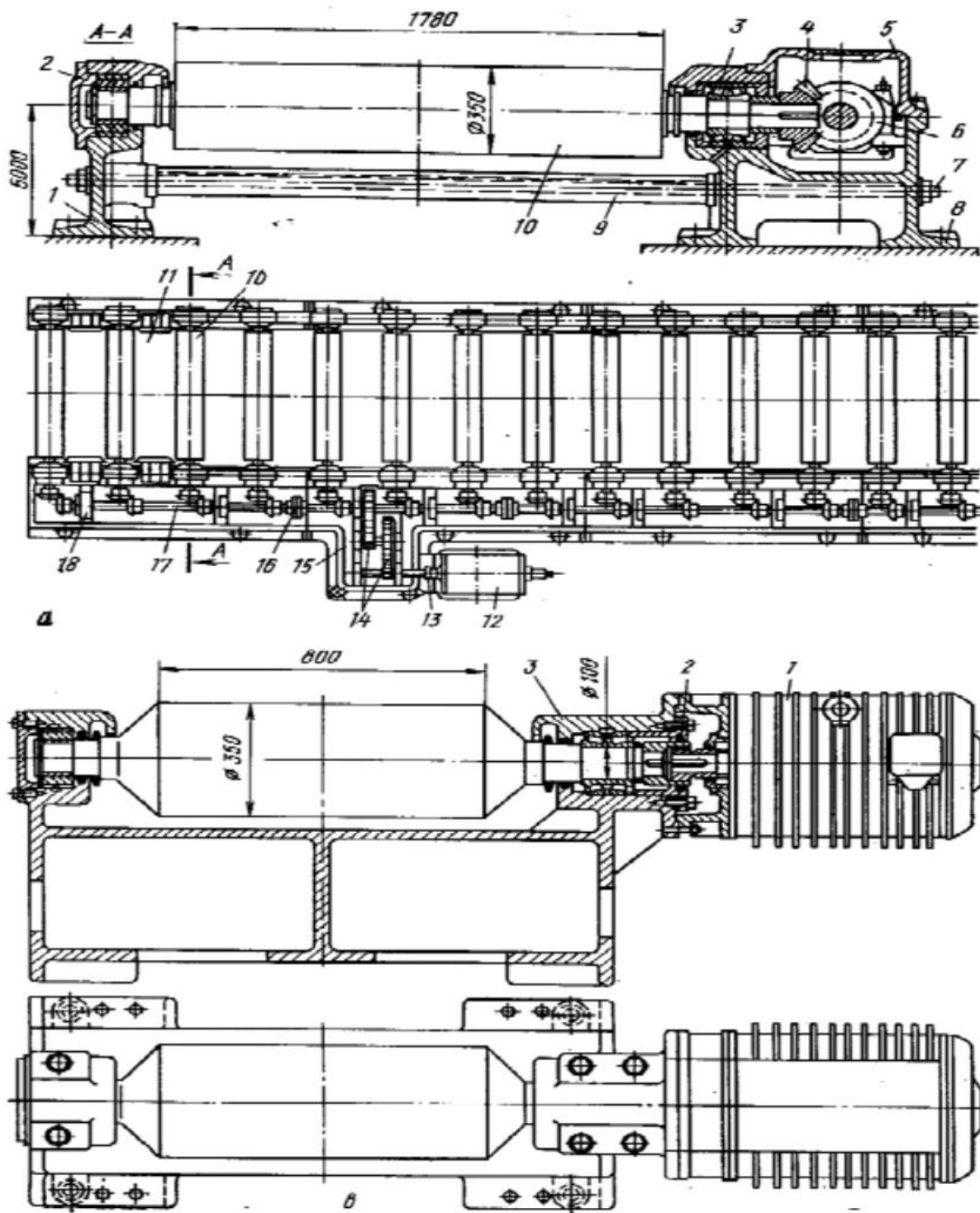


Рисунок 1.2 – Транспортные рольганги: а – с групповым приводом роликов;  
 б – с индивидуальным приводом ролика от тихоходного электродвигателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРИВОДАМ МЕХАНИЗМОВ

### 2.1 Общие требования

Цель модернизации:

- максимально автоматизировать процесс управления электроприводами рольганга;
- исключить появление брака за счет транспортирования;
- обеспечить автоматический и ручной режимы управления рольгангом;
- обеспечить возможность управления приводом рольганга и контроля с операторских постов и возможность контроля режимов работы оборудования дежурным;
  - значительно улучшить динамику работы электропривода, с целью повышения производительности и сокращения простоев;
  - обеспечить всесторонний автоматический контроль работы всех звеньев АСУ ТП и электропривода;
  - обеспечить интеграцию системы управления рольгангом в автоматизированную систему управления прокатного стана;
  - уменьшить расход электроэнергии и пиковые токовые нагрузки питающего трансформатора в динамических режимах работы;
  - исключить потребление реактивной мощности приводом рольганга.

### 2.2 Требования, предъявляемые к электроприводу рольганга

Электропривод рольганга в соответствии с требованиями современной технологии прокатки металла должен удовлетворять следующим техническим требованиям:

- $a, b$  – высота, ширина заготовки, 0,2 м;
- $l_3$  – длина заготовки, 7 м;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18



- $l_{mp1}$  – длина транспортного пути подающего рольганга, 12,8 м;
- $l_{mp2}$  – длина транспортного пути пакетирующего рольганга, 16 м;
- $m_3$  – масса заготовки, 2000 кг;
- $V_p$  – требуемая скорость рабочего хода рольганга, 0,6 м/с;
- $a_p$  – требуемое линейное ускорение, 0,25 м/с<sup>2</sup>.

Система из подающего и пакетирующих рольгангов служит для транспортирования заготовок на пакетирующий стол. Подающий рольганг состоит из шестнадцати роликов с индивидуальным приводом. Общий вид механизма приведен на рисунке 2.1.

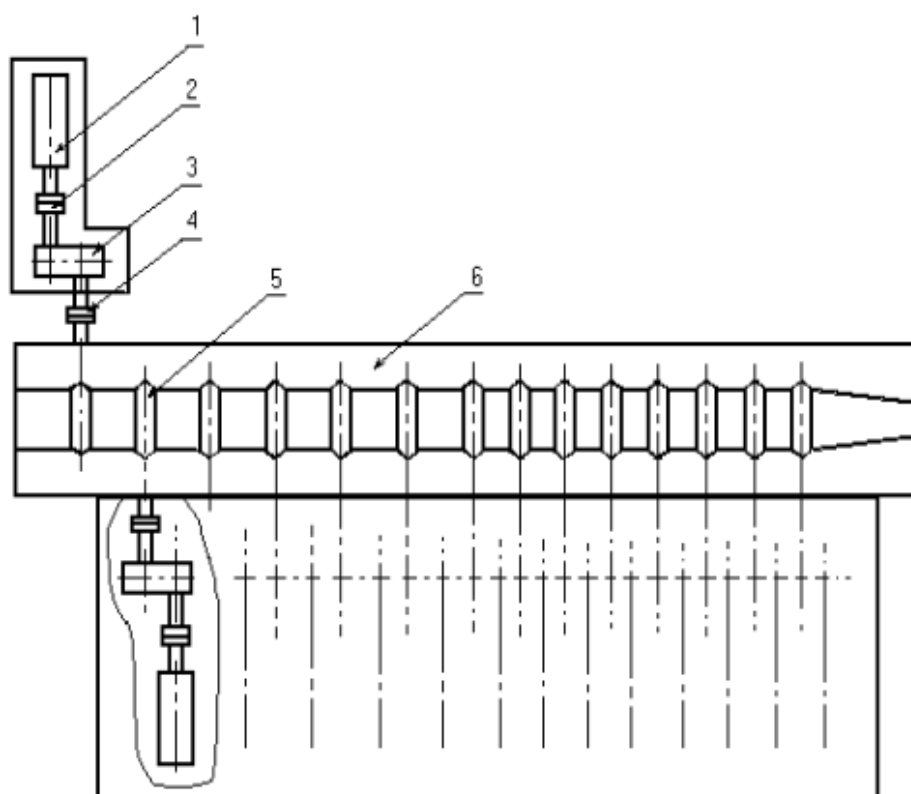


Рисунок 2.1 – Общий вид рольганга: 1 – электродвигатель; 2,4 – зубчатая муфта; 3 – цилиндрический редуктор; 5 – ролик; 6 – рама рольганга

При индивидуальном приводе каждый ролик имеет отдельный двигатель. Применение индивидуального привода обусловлено перемещением роликами рольганга заготовок большой длины, при этом масса металла распределяется на большое количество роликов.

Каждый ролик приводится соответственно от своего двигателя через зубчатые муфты и цилиндрический редуктор. Кинематическая схема механизма приведена на рисунке 2.2. Каждый двигатель смонтирован на отдельной фундаментной плите.

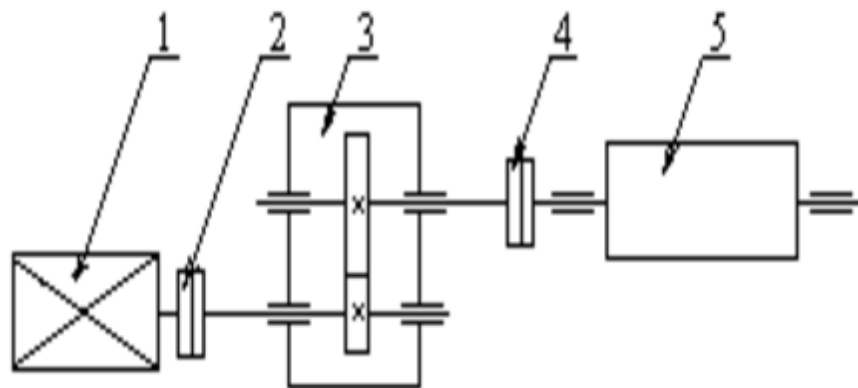


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема: 1 – электродвигатель; 2,4 – зубчатая муфта; 3 – цилиндрический редуктор; 5 – ролик

Основные характеристики механизма:

- $D$  – диаметр ролика, 400 мм;
- $D_{ш}$  – диаметр шейки ролика, 100 мм;
- $m_p$  – масса ролика, 1000 кг;
- $Z_1$  – количество роликов подающего рольганга, 16;
- $Z_2$  – количество роликов пакетирующего рольганга, 20;
- $J_p$  – момент инерции ролика, 20 кг·м<sup>2</sup>;
- $J_m$  – момент инерции муфты, 0,4 кг·м<sup>2</sup>.

Из-за тяжелых условий эксплуатации в рольгангах, как правило, используют специальные рольганговые асинхронные короткозамкнутые двигатели, обладающие повышенным скольжением и низким коэффициентом мощности.

Поэтому следует отметить некоторые специфические свойства рольганга как объекта управления:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

– в качестве электродвигателей рольгангов должны применяться специальные электрические машины, учитывающие особенности работы данного механизма.

– важнейшей особенностью рольганговых двигателей является высокие пусковые моменты и мягкая механическая характеристика вращающего момента;

– мягкая механическая характеристика должна обеспечивать плавное изменение скорости при пусках и торможениях, так как при резких и неравномерных ускорениях может происходить буксование (проскальзывание) роликов относительно транспортируемого металла;

– электродвигатель должен соответствовать возможным во время эксплуатации перегрузкам, которые при заклинивании прокатываемого изделия могут привести к продолжительному режиму короткого замыкания электродвигателя при номинальном напряжении питания;

– при оценке особых условий эксплуатации рольганга следует учитывать весьма тяжелые окружающие условия. Электродвигатели часто подвергаются не только сильным механическим ударам и сотрясениям, но и сильному тепловому излучению раскаленного прокатываемого изделия, а также меняющимся воздействиям пыли и влажности;

– преобразователь должен обеспечивать быстрое протекание переходных процессов, регулирование скорости. Кроме того, система управления электроприводом должна обеспечивать равноускоренные процессы при разгоне и торможении;

– электропривод должен быть приспособлен для работы в комплексной системе автоматизации всего прокатного стана [5].

С учетом перечисленных особенностей и технологических требований для управления рольганговой электропривод:

– должен обладать высоким быстродействием, повышенной перегрузочной способностью;

- должен реализовывать режимы частотного пуска, электродинамического торможения, реверсирования с программно-задаваемым темпом;
- должен обладать приспособлением для дистанционного управления дискретными либо аналоговыми сигналами различных командоаппаратов;
- должен обеспечивать надежную защиту оборудования в аварийных режимах.

Применение специализированного рольгангового оборудования и замена морально и физически устаревшего магнитно-пускового оборудования обеспечивает:

- повышение надежности работы рольганга;
- увеличение срока службы электродвигателей рольганга;
- уменьшение энергопотребления при соблюдении всех технологических требований.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

### 3 РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕХАНИЗМА, РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

#### 3.1 Определение момента статического сопротивления

Для рольгангов, перемещающих металл большой длины, когда масса металла распределяется между большим числом роликов, применяется индивидуальный привод. К его преимуществам можно отнести возможность замены двигателя без остановки рольганга и возможность работы рольганга при выходе из строя одного или нескольких двигателей [5].

Для этого привода обычно применяются короткозамкнутые АД с большой перегрузочной способностью, питаемые от общего преобразователя частоты с диапазоном регулирования от 10 до 60 Гц.

##### 3.1.1 Выбор редуктора

Угловая скорость ролика:

$$\omega = \frac{V}{R}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость перемещения заготовки;  $R$  – радиус ролика.

$$\omega = \frac{36}{0,2} = 180 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Предварительно выбираем электродвигатель *AP160S6* компании «Кранрос» и проверяем его.

Тогда передаточное число редуктора будет равно:

$$i = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega}, \quad (2)$$

где  $\omega_{\text{ДВ}}$  – номинальная скорость двигателя.

$$i = \frac{\omega_{\text{ДВ}}}{\omega} = \frac{970}{180} = 5,389.$$

Выбираем цилиндрический редуктор ВК-350. Технические характеристики редуктора представлены в таблице 1.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Таблица 1 – Характеристики редуктора ВК-350

Передаточное число	10
КПД	0.95

### 3.1.2 Расчет моментов

Момент статического сопротивления рольганга состоит из момента холостого хода  $M_{xx}$  и момента транспортирования металла по роликам  $M_{тр}$  [6, с 391].

Полный момент статического сопротивления:

$$M_c = M_{xx} + M_{тр}. \quad (3)$$

Момент холостого хода рольганга, приведенный к валу двигателя [7]:

$$M_{xx} = \frac{m_p \cdot g \cdot D_{ш} \cdot \mu}{2 \cdot i \cdot \eta_{xx}}, \quad (4)$$

где  $m_p$  – масса одного ролика, кг;

$D_{ш}$  – диаметр шейки ролика;

$\mu$  – коэффициент трения скольжения в подшипниках ролика ( $\mu = 0,005$ );

$i$  – передаточное число редуктора;

$\eta_{xx} = 0,5\eta_{ном}$  – КПД редуктора при холостом ходе ( $\eta_{ном}$  – КПД редуктора при номинальной нагрузке).

$$M_{xx} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \cdot 0,005}{2 \cdot 10 \cdot 0,475} = 0,516 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент транспортирования металла по одному ролику, приведенный к валу двигателя [7]:

$$M_{тр} = \frac{M_{мет} \cdot g \cdot \left( \frac{D_{ш}}{2} \cdot \mu + f \cdot 10^{-2} \right)}{i \cdot \eta_{тр}}, \quad (5)$$

где  $M_{мет}$  – масса металла, приходящаяся на один ролик, кг;

$f$  – коэффициент трения качения металла по роликам ( $f = 0,0025 \div 0,01$ );

$\eta_{тр}$  – КПД редуктора при транспортировании металла по рольгангу, который без большой погрешности может быть принят равным  $\eta_{xx}$ .

При индивидуальном приводе величина массы металла, приходящейся на один ролик, зависит от ряда факторов, мало поддающихся учету, поэтому эту величину определяют на основе опыта. Относительная масса металла  $K$ , приходящаяся на один ролик, равна 0,5 для проката сечением более 2000 мм<sup>2</sup> и длиной свыше трех шагов роликов, тогда можно определить массу металла, приходящуюся на один ролик [8]:

$$M_{\text{мет}} = K \cdot m_3 . \quad (6)$$

$$M_{\text{мет}} = 0,5 \cdot 2000 = 1000 \text{ кг.}$$

$$M_{\text{тр}} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot \left( \frac{0,1}{2} \cdot 0,005 + 0,008 \cdot 10^{-2} \right)}{10 \cdot 0,475} = 0,681 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_c = 0,516 + 0,681 = 1,197 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Динамический момент двигателя, необходимый для преодоления сил инерции металла, роликов и двигателя [8]:

$$M_d = 2 \cdot a_p \cdot \left[ \frac{J_2 + J_{\text{мет}}}{i \cdot \eta_n \cdot D} + \frac{i \cdot J_1}{D} \right], \quad (7)$$

где  $a_p$  – линейное ускорение роликов и металла, м/с<sup>2</sup>;

$J_2$  – суммарный момент инерции ролика и зубчатой муфты, кг·м<sup>2</sup>;

$J_{\text{мет}}$  – момент инерции движущегося металла, кг·м<sup>2</sup>;

$J_1$  – суммарный момент инерции двигателя, редуктора и зубчатой муфты, кг·м<sup>2</sup>.

Если при движении металла по роликам сила инерции металла больше силы трения между металлом и роликами, имеет место проскальзывание металла по роликам. Критическое ускорение, т.е. максимальное ускорение, при котором не происходит буксования,  $a_{кр} = \mu_0 \cdot g$ . С учетом  $\mu_0$  получаются следующие значения  $a_{кр}$ : для холодного металла  $a_{кр} = 0,98 \dots 1,47$  м/с<sup>2</sup>; для горячего металла  $a_{кр} = 1,47 \dots 2,94$  м/с<sup>2</sup>.

Ускорение и замедление транспортируемого металла не может превышать  $a_{кр}$ . Если двигатель развивает ускорение больше ускорения  $a_{кр}$ , это приводит лишь к его избыточному нагреванию и повышенному износу роликов и не влияет на производительность рольганга.

Суммарный момент инерции двигателя, редуктора и зубчатой муфты [8]:

$$J_1 = J_d + J_{ред} + J_m. \quad (8)$$

Момент инерции рольганговых двигателей: 0,03...14,1 кг·м<sup>2</sup>, принимаем:

$$J_d = 0,07 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции редуктора:

$$J_{ред} = 1,4 \cdot J_d. \quad (9)$$

$$J_{ред} = 1,4 \cdot 0,7 = 0,098 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_1 = 0,07 + 0,098 + 0,4 = 0,586 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Суммарный момент инерции ролика и зубчатой муфты:

$$J_2 = J_{рол} + J_m. \quad (10)$$

Момент инерции ролика:

$$J_{рол} = \frac{m_p \cdot R^2}{2}, \quad (11)$$

где  $R$  – радиус ролика, м.

$$J_{рол} = \frac{1000 \cdot 0,2^2}{2} = 20 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции металла [8]:

$$J_{мет} = M_{мет} \cdot \left(\frac{V_p}{\omega}\right)^2. \quad (12)$$

$$J_{мет} = 1000 \cdot \left(\frac{0,6}{180}\right)^2 = 0,011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$J_2 = 20 + 0,011 = 20,011 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$M_d = 2 \cdot 0,025 \cdot \left[ \frac{20,011 + 0,011}{10 \cdot 0,95 \cdot 0,4} + \frac{10 \cdot 0,586}{0,4} \right] = 9,735 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полным момент будет равен:

$$M_{п} = M_c + M_d. \quad (13)$$

$$M_{п} = 1,197 + 9,735 = 10,931 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$



## 3.2 Выбор двигателя

Основным требованием при выборе электродвигателя является соответствие его мощности условиям технологического процесса. Определяющими при выборе мощности является нагрев его обмоток, а также возможные кратковременные перегрузки.

Для рольгангового электропривода, самым тяжелым режимом, является пуск.

Поэтому двигатель должен соответствовать критериям 3.1.1 и 3.1.2. По условиям нагрева двигатель проходит так как момент статический намного больше момента номинального двигателя.

### 3.2.1 Определение момента номинального двигателя

Ориентировочно определяется номинальный момент двигателя согласно формуле:

$$k_э \cdot M_{\Pi} \leq M_{Н}, \quad (14)$$

где  $k_э$  – коэффициент, учитывающий динамические режимы.  $k_э = 1.1 \dots 1.5$

$$1,3 \cdot 10,931 \leq M_{Н}.$$

$$14,21 \leq M_{Н}.$$

### 3.2.2 Определение номинальной скорости двигателя

$$\omega_{уст} \leq \omega_{Н}. \quad (15)$$

$$180 \leq \omega_{Н}.$$

### 3.2.3 Определение номинальной мощности двигателя

Продолжительный режим работы электродвигателя (*SI*) – режим работы с постоянной нагрузкой и продолжительностью, достаточной для достижения теплового равновесия, см. рисунок 3.1 (*N* – работа при постоянной нагрузке;  $\theta_{max}$  – максимальная достигнутая температура) [9].

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

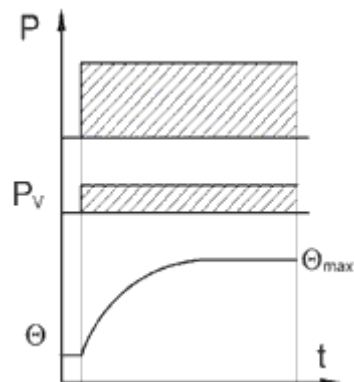


Рисунок 3.1 – Диаграмма нагрузки

Рассчитывается номинальная мощность двигателя:

$$P_H = M_H \cdot \omega_H > k_{\varepsilon} \cdot M_{II} \cdot \omega_{уст.} \quad (16)$$

$$P_H = M_H \cdot \omega_H > 10,931 \cdot 180 \text{ Вт.}$$

$$P_H = M_H \cdot \omega_H > 2,558 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

### 3.3 Выбор рода тока, типа электродвигателя и преобразовательного агрегата

#### 3.3.1 Выбор рода тока

Для привода механизмов, имеющих тяжелые условия пуска или работы либо требующих изменения частоты вращения, следует применять электродвигатели с наиболее простыми и экономичными методами пуска или регулирования частоты вращения, возможными в данной установке.

На основании требований, предъявляемых к электроприводу и учитывая систему электроснабжения предприятия, выбираем электропривод переменного тока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 3.3.2 Выбор типа электродвигателя

В качестве индивидуального привода рольгангов обычно применялись двигатели постоянного тока небольшой мощности. Применение асинхронных двигателей было затруднено из-за сложности и дороговизны системы управления электроприводом. Однако с развитием микропроцессорной техники появились асинхронные частотно-регулируемые электроприводы, по всем показателям не уступающие электроприводам постоянного тока, а по некоторым показателям статических и динамических характеристик превосходящие электропривода постоянного тока.

По надежности электродвигатели постоянного тока сильно уступают асинхронным короткозамкнутым двигателям, особенно в тяжелых условиях работы рольганга. Применение асинхронных короткозамкнутых электродвигателей также выгодно и с экономической точки зрения. Цена на асинхронный двигатель меньше цены на двигатели постоянного тока той же мощности.

Не проводя детальный анализ всех параметров сравнения двигателей разного рода тока, ясно, что наиболее актуальным и перспективным является применение в качестве электропривода, специальных рольганговых двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором [5].

Преимущества асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором следующие:

- приблизительно постоянная скорость при разных нагрузках;
- возможность кратковременных механических перегрузок;
- простота конструкции;
- простота пуска и легкость его автоматизации;
- более высокие  $\cos\varphi$  и КПД, чем у электродвигателей с фазным ротором.

Выбираем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для рольгангов с питанием от преобразователей частоты *AP160S6* (рисунок 3.2) фирмы «Кранрос» [10]. Технические характеристики двигателя представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики двигателя *AP160S6*

$P_n$ , кВт	$\omega_n$ , об/мин	$\eta$	$\cos\varphi$	$I_n$ , А ( $U_n = 380$ В)	$M_n$ , Н·м	$M_{max}$ , Н·м	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг <i>IM1001</i>
4,8	970	87	0,82	10,2	47	105	0,070	125



Рисунок 3.2 – Двигатель *AP160S6*

Для привода перекидной линейки используется асинхронный двигатель *AP160M12* мощностью 1,1 кВт, взятой с запасом [10]. Характеристики двигателя представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики двигателя *AP160M12*

$P_n$ , кВт	$\omega_n$ , об/мин	$\eta$	$\cos\varphi$	$I_n$ , А ( $U_n = 380$ В)	$M_n$ , Н·м	$M_{max}$ , Н·м	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг <i>IM1001</i>
1,1	480	75	0,5	6	22	44	0,085	155

### 3.3.3 Построение механической характеристики асинхронного двигателя

Для оценки свойств асинхронного двигателя прибегают к построению механической характеристики.

Механическая характеристика асинхронного двигателя выражает зависимость между электромагнитным моментом и частотой вращения, либо скольжением. Скольжение – это величина, которая показывает, насколько частота вращения магнитного поля опережает частоту вращения ротора.

Благодаря механической характеристике, появляется возможность определить к какому типу установки больше подходит двигатель, на каком участке сохраняется его устойчивая работа, перегрузочную способность и другое.

Построим механическую характеристику для двигателя *AP160S6*.

Паспортные данные двигателя:

$$\omega_1 = 1000 \text{ об/мин};$$

$$P_n = 4,8 \text{ кВт};$$

$$\omega_n = 970 \text{ об/мин};$$

$$\eta = 87 \%;$$

$$\cos\varphi = 0,82;$$

$$M_{max}/M_n = \lambda = 2,23.$$

Для построения нам необходимо произвести расчет номинального скольжения:

$$S_n = \frac{\omega_1 - \omega_n}{\omega_1}. \quad (17)$$

$$S_n = \frac{1000 - 970}{1000} = 0,03.$$

Рассчитаем критическое скольжение и момент, для этого необходимо знать коэффициент  $\lambda$ :

$$S_{кр} = S_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (18)$$

$$S_{кр} = 0,03 (2,23 + \sqrt{2,23^2 - 1}) = 0,13.$$

$$M_{кр} = \lambda \cdot M_n. \quad (19)$$

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{кр} = 2,23 \cdot 22 = 49,06.$$

С помощью упрощенной формулы Клосса, рассчитаем моменты для других значений скольжений.

Упрощенная формула Клосса выглядит следующим образом:

$$M = \frac{2M_{кр}}{S/S_{кр} + S_{кр}/S}. \quad (20)$$

Рассчитаем для каждого значения скольжения момент и частоту вращения. Например, для значения 0,4:

$$M = \frac{2 \cdot 49,06}{0,4/0,13 + 0,13/0,4} = 28,84.$$

Частоту вращения выразим из формулы для определения скольжения:

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0(1 - s). \\ \omega &= 1000 \cdot (1 - 0,4) = 600. \end{aligned} \quad (21)$$

Подобным образом рассчитываются остальные значения. Так как формула упрощенная, значения могут несколько отличаться от действительных, что не критично для расчетов. В таблице представлены результаты расчетов.

Таблица 4 – Зависимость момента и скорости от скольжения

<i>S</i>	0	<i>S<sub>H</sub></i>	<i>S<sub>кр</sub></i> /2	<i>S<sub>кр</sub></i>	0,2	0,3
<i>M</i>	0	21,4	39,2	49,0	44,8	35,8
$\omega$	1000	970	935	870	800	700

Продолжение таблицы 4

<i>S</i>	0,4	0,5	0,6	0,7	0,2	0,9	1
<i>M</i>	28,8	23,9	20,3	17,6	15,5	13,8	12,5
$\omega$	600	500	400	300	200	100	0

Теперь на основании расчетов мы можем построить саму механическую характеристику.

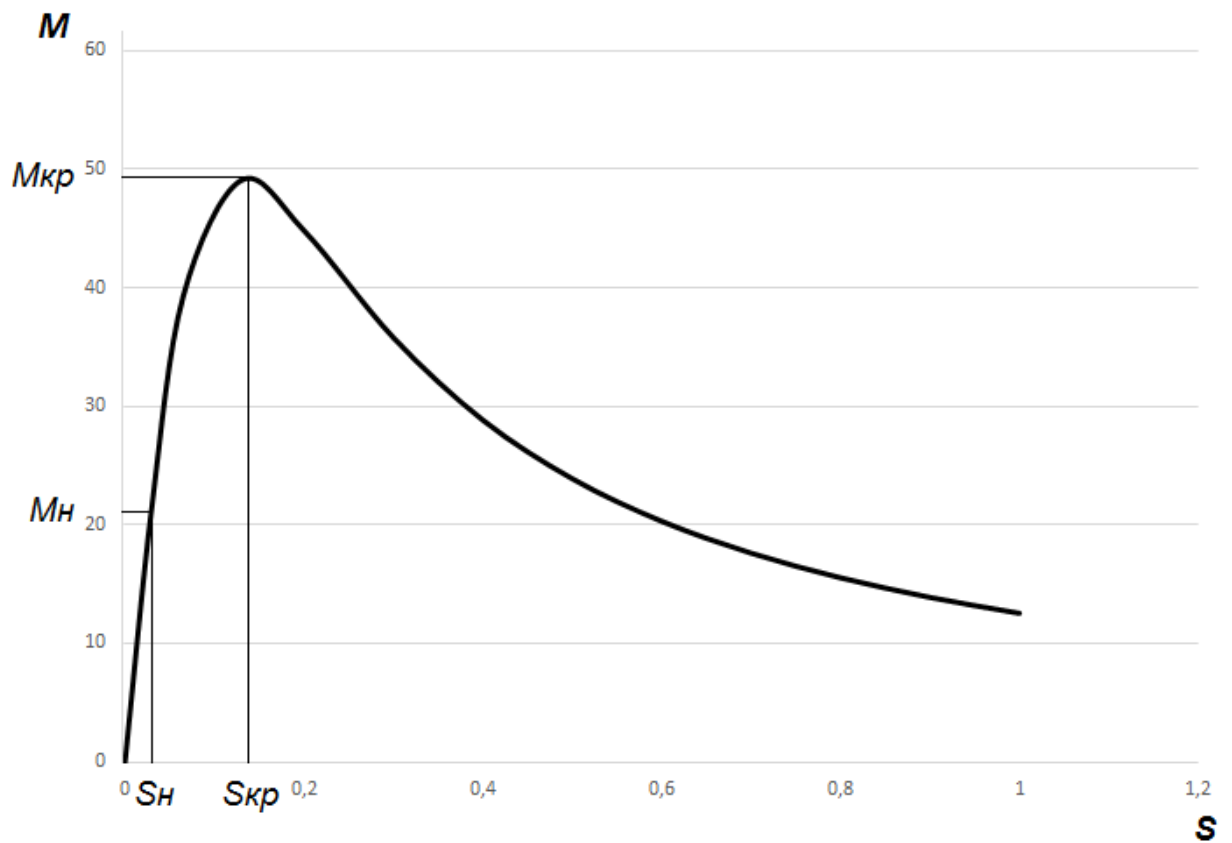


Рисунок 3.3 – Зависимость момента от скольжения

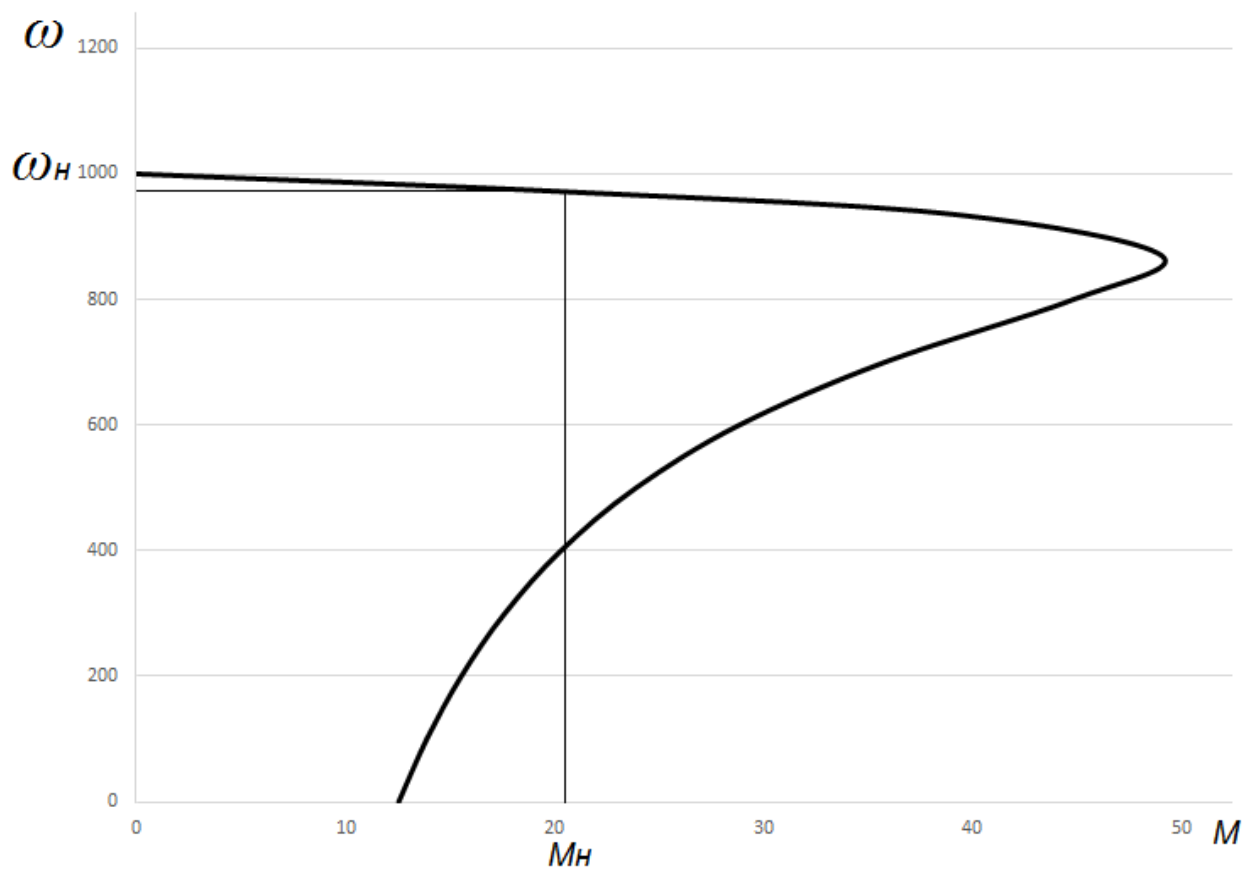


Рисунок 3.4 – Зависимость скорости от момента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ

Лист

33

### 3.3.4 Выбор преобразовательного агрегата

Управление двигателем будем осуществлять преобразователем частоты, то есть двигатель будет питаться не от цеховой сети, а от отдельного индивидуального преобразователя частоты (ПЧ).

Питание может осуществляться как от преобразователя с непосредственной связью (НПЧ), так и от двухзвенного преобразователя с автономными инверторами (ПЧИ).

НПЧ выгодно и целесообразно использовать в системах, у которых диапазон выходных частот находится в пределах 25...12,5 Гц.

При выходных частотах 50 Гц и ниже используют преобразователи ПЧИ. Применение автономных инверторов тока целесообразно в приводах с поддержанием момента.

Выбор преобразователя частоты осуществляется, исходя из условия:

$$\begin{cases} U_{ПЧ} \geq U_{НЛ} \\ I_{ПЧ} \geq I_{НЛ} \end{cases} \quad (17)$$

где,  $U_{ПЧ}$ ,  $I_{ПЧ}$  – номинальное линейное напряжение и ток нагрузки преобразователя частоты;

$U_{НЛ}$ ,  $I_{НЛ}$  – номинальное линейное напряжение и фазный ток статора двигателя.

### 3.3.5 Выбор преобразователей

Система приводов состоит из:

- подающий рольганг;
- перекидная линейка;
- левый рольганг транспортировки;
- правый рольганг транспортировки.

На рисунке 3.5 представлена функциональная схема рольгангов.



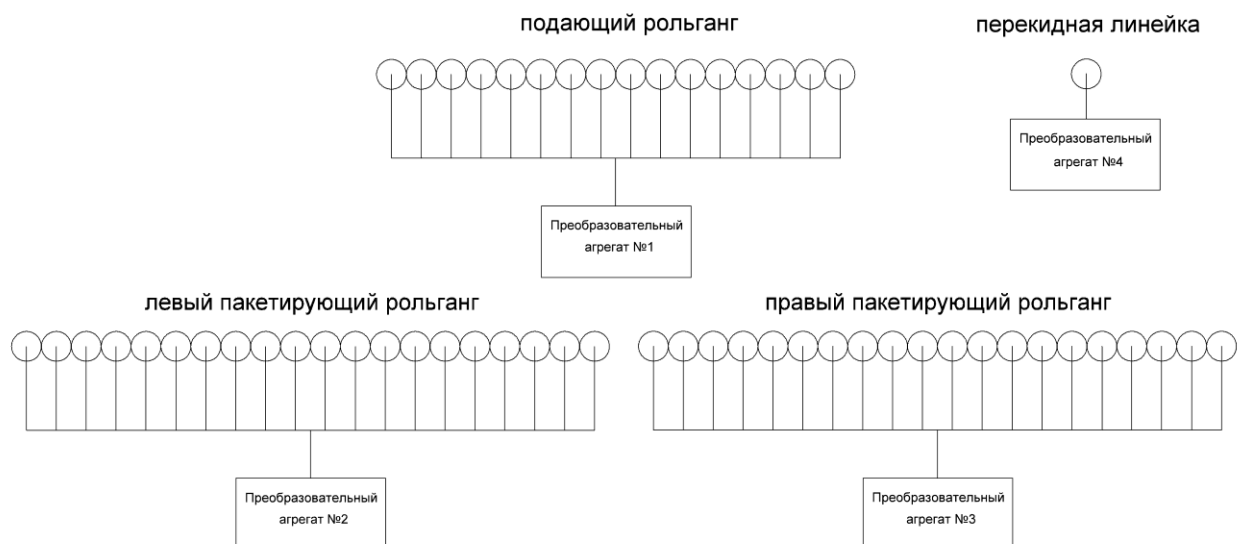


Рисунок 3.5 – Функциональная схема

Для управления электроприводом данной системы выберем преобразователь частоты *Unidrive M700* фирмы «*Control techniques*» [11].

*Unidrive M700* – это универсальный частотный преобразователь, предназначенный для работы с различными типами электродвигателей:

- асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором;
- электродвигатели с постоянными магнитами;
- сервомоторы;
- линейные двигатели.

Диапазон мощности – 0,37 кВт-1,2 МВт. Напряжение питания – 200-690 В.

Преобразователь частоты *Unidrive M700* является отличным инструментом для решения любых приводных задач на предприятии - от простых применений с насосными агрегатами высокой мощности, до самых высоко-динамичных применений с управлением положением исполнительного механизма.

Так же, как и предшественник - *Unidrive SP*, преобразователь частоты *Unidrive M700* может работать как рекуператор, возвращать генерируемую при работе приводного механизма энергию в сеть, что позволяет организовать экономичную многодвигательную систему.

Благодаря наличию 3-х слотов для установки опциональных *SI*- модулей и встроенному порту *Ethernet*, *Unidrive M700* может являться основой системы управления и управлять не только двигателем, но и вспомогательным оборудованием технологической установки, используя при этом аналогово-дискретный обмен или сетевой интерфейс.

Существует три модификации *Unidrive M700* со следующими отличиями:

- *M700* – встроенный *Ethernet*, 1 дискретный вход безопасности;
- *M701* – прямая замена *Unidrive SP* (встроенный *RS485*, 1 дискретный вход безопасности, аналогичные входы\выходы управления);
- *M702* – встроенный *Ethernet*, 2 дискретных входа безопасности.

Основные особенности *Unidrive M700*:

- возможность установки до 3-х опциональных модулей одновременно;
- встроенный *Motion* контроллер Различные режимы работы (*Open Loop vector* или  $V\backslash Hz$ , *RFC-A*, *RFC-S*, Рекуперация);
- функция управление моментом двигателя;
- копирование параметров и программы встроенного *PLC* с помощью смарт-карты;
- поддержка 17 типов датчиков обратной связи по скорости и положению;
- питание напряжением *24-1067VDC* (может использоваться как аварийное);
- встроенный ПЛК на базе *CODESYS*;
- встроенный *Ethernet*;
- резервное питание платы управления *24VDC*;
- полоса пропускания контура скорости – 250 Гц;
- полоса пропускания контура тока – 3,3 кГц;
- встроен вход отключения двигателя с уровнем безопасности *SIL3*.

Мощность, напряжение питания, степень защиты *Unidrive M700*:

- 3 x 200-240 В: 0,75 - 90 кВт;
- 3 x 380-480 В: 0,75 - 1200 кВт;
- 3 x 500-690 В: 15 - 1200 кВт.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Мощность указана для тяжелого режима работы. Степень защиты – IP20, IP65.

Перегрузочная способность *Unidrive M700*:

- 150% от номинального момента в тяжелом режиме в течение 60 секунд.

Охлаждение *Unidrive M700*:

- регулируемый по температуре вентилятор.

Порты связи *Unidrive M700*:

- встроенный *Ethernet, RS 485 (M701)*.

Выходная частоты и частота коммутации *Unidrive M700*:

- максимальная выходная частота – 550 Гц;
- частота коммутации – 3-16 кГц.

Входы\выходы управления *Unidrive M700*:

- количество программируемых дискретных входов – 4;
- количество программируемых дискретных выходов – 1;
- количество программируемых дискретных входов\выходов – 3;
- количество программируемых аналоговых входов – 3;
- количество программируемых аналоговых выходов – 2;
- количество программируемых встроенных реле – 1;
- вход для аппаратного аварийного останова – 1;
- *15 pin* разъем для подключения датчиков ОС – 1.

Температура окружающей среды *Unidrive M700*:

- работа – -20/+40 °С (без ухудшения характеристик);
- хранение – -40/+70 °С.

ПИ\ПИД-регуляторы *Unidrive M700*:

- ПИД-регулятор скорости;
- ПИД-регулятор процесса;
- ПИ-регулятор момента.

В зависимости от напряжения питания и мощности, существуют следующие модели *Unidrive M700, M701, M702*.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

### 3.3.6 Выбор преобразователя для подающего рольганга

Выбранный преобразователь: *Unidrive M701-094 02000 A* [11] (рисунок 3.6).  
Параметры преобразователя представлены в таблице 5.



Рисунок 3.6 – Преобразователь частоты серии *Unidrive M701-094 02000 A*

Таблица 5 – Параметры преобразователя частоты *Unidrive M701-094 02000 A*

Тяжелый режим		Нормальный режим	
Мощность, кВт	Макс. длительный ток, А	Мощность, кВт	Макс. длительный ток, А
90	200	110	221

Данный преобразователь обеспечивает плавный разгон, торможение и реверс двигателя изменением частоты, величины напряжения и порядка чередования фаз выходного напряжения ПЧ.

### 3.3.7 Выбор преобразователя для пакетирующих рольгангов

Левый и правый пакетирующие рольганги состоят из двадцати роликов. Каждый ролик приводится в движение асинхронным короткозамкнутым двигателем *AP160S6* фирмы «Кранрос». От одного преобразователя частоты питаются по двадцать двигателей.

Согласно упомянутым требованиям, выбираем преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения (ПЧИ).

Выбранный преобразователь: *Unidrive M701-094 02240 A* [11]. Параметры преобразователя представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры преобразователя частоты *Unidrive M701-094 02240 A*

Тяжелый режим		Нормальный режим	
Мощность, кВт	Макс. длительный ток, А	Мощность, кВт	Макс. длительный ток, А
110	224	132	266

### 3.3.8 Выбор преобразователя для перекидной линейки

В действующей схеме для привода перекидной линейки используется асинхронный двигатель *AP160M12*, мощностью 1,1 кВт. К двигателю подключим преобразователь частоты *Unidrive M701-024 00041 A*, данные преобразователя представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры преобразователя частоты *Unidrive M701-024 00041 A*

Тяжелый режим		Нормальный режим	
Мощность, кВт	Макс. длительный ток, А	Мощность, кВт	Макс. длительный ток, А
1,5	4,5	2,2	6,2

## 4 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

### 4.1 Описание процесса пакетирования заготовок

Автоматизируемый механизм непрерывно-заготовочного стана направляет заготовки на тот или иной пакетирующий стол. Мерные заготовки через подающий рольганг 1 (рисунок 4.1) поступают на направляющий механизм, перекидная линейка 2 которого перебрасывается из одного крайнего положения в другое с помощью двигателя 4 и редуктора 3. Направляющий механизм подает заготовки только на правый пакетирующий рольганг 5 (перекидная линейка 2 в положении, показанном на рисунке 4.1), если заготовки более или равны 6 м (длинные заготовки). Заготовки поступают по рольгангу 5 до механического упора 7, где создается пакет 8 заготовок на пакетирующем столе 9. После формирования 25 штук в пакете рольганг 1 отключается до освобождения правого пакетирующего стола от сформированного пакета.

Если раскат режется на заготовки менее 6 м (короткие заготовки), то привод перекидной линейки работает в поочередном режиме, начиная с подачи заготовок на правый пакетирующий рольганг. После пропуска 25 заготовок перекидная линейка перебрасывается для направления заготовок к левому пакетирующему столу 6.

Рольганг 1 может быть включен, если перекидная линейка 2 занимает одно из фиксированных с определенным допуском положений – правое или левое. Несоблюдение этого условия приводит к выбросу заготовок с рольганга.

В случае пакетирования коротких заготовок системой автоматизации должна формироваться предупреждающая сигнализация. Она подается, если на одном пакетирующем столе находится 25 заготовок, а на другой подано уже 20 заготовок. Аварийная сигнализация с одновременным отключением всех рольгангов подается системой автоматизации при наличии на правом и левом пакетирующих столах полных пакетов заготовок (по 25 штук на каждом) [12].

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

На рисунке 4.1 представлены:

- 1 – подающий рольганг;
- 2 – перекидная линейка;
- 3 – редуктор;
- 4 – двигатель;
- 5 – правый пакетирующий рольганг;
- 6 – левый пакетирующий рольганг;
- 7 – механический упор;
- 8 – пакет заготовок;
- 9 – пакетирующий стол.

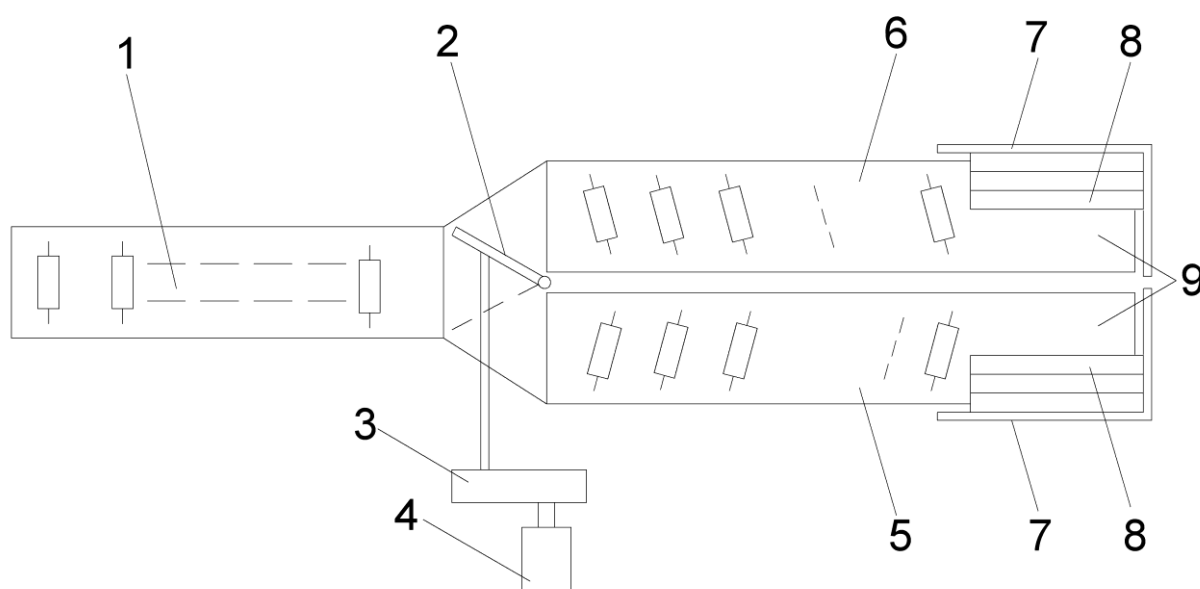


Рисунок 4.1 – Функциональная схема

#### 4.2 Общие требования к АСУ

4.2.1 АСУ любого вида должна соответствовать требованиям настоящего стандарта, требованиям технического задания на ее создание или развитие (далее – ТЗ на АСУ), а также требованиям нормативно-технических документов, действующих в ведомстве заказчика АСУ.

4.2.2 Ввод в действие АСУ должен приводить к полезным технико-экономическим, социальным или другим результатам.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



4.2.3 АСУ должна обеспечивать достижение целей ее создания (развития), установленных в ТЗ на АСУ.

4.2.4 В АСУ должна быть обеспечена совместимость между ее частями, а также с автоматизированными системами (АС), взаимосвязанными с данной АСУ.

4.2.5 В АСУ должны быть предусмотрены контроль правильности выполнения автоматизированных функций и диагностирование, с указанием места, вида и причины возникновения нарушений, правильности функционирования АСУ.

4.2.6 В АСУ должны быть предусмотрены меры защиты от неправильных действий персонала, приводящих к аварийному состоянию объекта или системы управления, от случайных изменений и разрушения информации и программ, а также от несанкционированного вмешательства.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

## 5 ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (АСУ ТП)

1 АСУ ТП в промышленности и непромышленной сфере должны управлять технологическим объектом в целом и снабжать взаимосвязанные с ней системы достоверной технологической и технико-экономической информацией о работе технологического объекта управления (ТОУ);

2 АСУ ТП должна вырабатывать и реализовывать рациональные по целям и критериям управления управляющие воздействия на ТОУ в реальном масштабе времени протекания технологического процесса в объекте управления;

3 АСУ ТП должна быть совместима со всеми взаимосвязанными с ней автоматизированными системами (АС), указанными в ТЗ на АСУ ТП, в том числе с системами, входящими вместе с данной АСУ ТП в состав гибкого автоматизированного производства, например, САПР технологии, автоматизированными складскими и транспортными системами, АС технологической подготовки производства;

4 управляющие воздействия в АСУ ТП должны вырабатываться автоматически или формироваться ее оперативным персоналом с помощью комплекса средств автоматизации, входящего в систему;

5 АСУ ТП должна обеспечивать управление объектом в нормальных, переходных и предаварийных условиях его функционирования, а также защиту или остановку объекта при угрозе аварии;

6 АСУ ТП должна осуществлять функцию контроля исполнения управляющих воздействий на ТОУ и сигнализировать о выходе исполнительных органов в предельно допустимые положения;

7 при реализации функции аварийного автоматического отключения оборудования в АСУ ТП должна быть обеспечена сигнализация об этом оперативному персоналу с помощью светового и, при необходимости, звукового сигналов с автоматической регистрацией времени отключения;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

8 в качестве основных технических средств АСУ ТП должны быть использованы изделия Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП), другие изделия, удовлетворяющие требованиям стандартов ЕССП, и средства вычислительной техники, соответствующие ГОСТ 21552-84;

9 технические средства АСУТП, размещаемые на технологическом оборудовании, должны соответствовать требованиям, предъявляемым к ним условиям эксплуатации;

10 каждое лицо, входящее в состав персонала, должно обладать:

– знаниями, объем и глубина которых позволяет ему выполнять все действия (взаимодействия), входящие в соответствующие автоматизированные и взаимосвязанные с ним неавтоматизированные функции АСУ ТП, а также принимать правильные решения в аварийных ситуациях или при других нарушениях нормальной эксплуатации;

– отработанными навыками, позволяющими с заданными безошибочностью и быстротой выполнять все действия и взаимодействия.

11 в программном обеспечении АСУ ТП должны быть предусмотрены, а в организационном обеспечении отражены языковые средства для общения оперативного персонала с КТС АСУ ТП, удобные и доступные для лиц, не имеющих квалификации программиста;

12 коды и условные обозначения, используемые в АСУ ТП, должны быть приближены к терминам и понятиям, применяемым технологическим персоналом объекта управления, и не должны вызывать трудностей при их восприятии [13].

## 6 ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ МНЛЗ

Основные требования, предъявляемые к системе автоматизации МНЛЗ:

- обеспечение широкого температурного диапазона работы технических средств локальных систем автоматического управления (САУ);
- распределенная система электропитания;
- обеспечение надежного контура заземлений на каждой отдельной площадке объекта автоматизации;
- защита контрольно-измерительных и информационных каналов от внешних воздействий, а также усиление передаваемых сигналов;
- выбор оптимального, с точки зрения эффективности, надежности и взаимозаменяемости составных частей, удовлетворяющего международным стандартам контроллерного оборудования;
- выбор оптимального, с точки зрения пылевлагонепроницаемости, а также защиты от электромагнитного излучения, коррозии и др. факторов, удовлетворяющего международным стандартам конструктива шкафа цехового контроллера, шкафов автоматики локальных САУ и автоматизированного рабочего места системного инженера (АРМ);
- обеспечение высоконадежных каналов обмена технологической информацией между отдельными автоматизированными объектами и централизованной системой управления и контроля;
- резервирование основной аппаратуры контроля и управления, а также наиболее важных каналов передачи информации;
- обеспечение аппаратного и программного аварийного останова технологического комплекса при аварийных ситуациях;
- обеспечение высокоэффективного человеко-машинного интерфейса в системе визуализации и мониторинга;
- обеспечение обмена данными по информационным каналам в реальном масштабе времени;

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

– эффективная, с точки зрения скорости обнаружения неисправности, и надежная диагностика программно-аппаратных средств;

– обеспечение обслуживающего персонала качественной эксплуатационной документацией, а также инструментом для монтажа и диагностики.

Система автоматизации должна обеспечить следующие функции:

– для подающего и пакетирующих рольгангов и перекидной линейки задавать работу в автоматическом и ручном режиме;

– система должна диагностировать состояние объекта и при отсутствии ошибок выдавать сигнал «Готовность»;

– работу в автоматическом режиме обеспечивать при сигнале готовности агрегатов и при исправных состояниях датчиков;

– при работе в ручном режиме обеспечивать управление каждым механизмом независимо от состояния других механизмов;

– система должна обеспечивать выявление и индикацию аварийных режимов работы световой сигнализацией.

Функции оператора должны сводиться к подаче питания на все элементы системы. Далее оператор оценивает ситуацию и, если есть возможность начать работу в автоматическом режиме, запускает систему в работу. Если ситуация не позволяет начать работу в автоматическом режиме, он должен в ручном режиме привести оборудование к тому состоянию, из которого система может быть выведена в автоматический режим работы.

При ручном управлении оператор может включить любой из механизмов, с помощью кнопки «Пуск», отпустив кнопку механизм выключится, при работе же в автоматическом режиме система работает согласно вышеописанной последовательности.

## 7 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ

### 7.1 Режимы работы системы

По условию поставленной задачи на проектирование система автоматизации механизмов участка «Транспортировки» МНЛЗ должна обеспечивать работу в двух режимах: ручном и автоматическом.

### 7.2 Формулировка выходных команд

Из представленного описания технологического процесса и последовательности работы механизмов следует, что система автоматизации должна формировать следующие выходные команды:

- включение двигателей подающего рольганга вперед;
- включение двигателей пакетирующих рольгангов вперед;
- включение двигателя перекидной линейки с переходом на левый/правый пакетирующий рольганг.

### 7.3 Команды индикации и сигнализации

Кроме команд на исполнительные механизмы необходимо задействовать выходные сигналы на индикацию и сигнализацию состояния системы, для удобства эксплуатации и устранения неполадок в системе. На пульт управления оператора будут выводиться следующие сигналы:

- индикация «Готовность системы» и «питание»;
- индикация «Авария перекидной линейки» при неполном переключении перекидной линейки;
- индикация «Полный стол» при наличии на одном из столов 25 заготовок и одновременной подаче 20 заготовок на другой пакетирующий стол;
- индикация «Авария» при переполнении пакетирующих столов.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

#### 7.4 Элементы управления пульта оператора

Далее весь расчёт представлен для автоматизации подающего и пакетирующих рольгангов, все уравнения будут аналогичны.

Для управления механизмами в ручном режиме введен пульт управления. Рабочее место оператора представляет собой пульт управления с сенсорным монитором. С него оператор осуществляет работу в ручном режиме и может задавать следующие входные сигналы:

- кнопка пуск готовности схем;
- кнопка автоматический (ручной) режим работы;
- кнопка сброс аварии;
- кнопка подающий рольганг вперед;
- кнопка подающий рольганг назад;
- кнопка левый пакетирующий рольганг вперед;
- кнопка левый пакетирующий рольганг назад;
- кнопка правый пакетирующий рольганг вперед;
- кнопка правый пакетирующий рольганг назад;
- кнопка перекидная линейка «левый стол»;
- кнопка перекидная линейка «правый стол»;
- кнопка «заготовки  $\geq 6$  метров / заготовки  $< 6$  метров»;
- кнопка аварийной остановки приводов.

#### 7.5 Элементы, предоставляющие информацию о состоянии объекта

Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о состоянии производственного объекта. Поэтому необходимо использовать следующие датчики:

- датчик оптический о наличии заготовки в положениях Л20, Л5, П20, П25;
- датчики, фиксирующие положение перекидной линейки в крайних соответственно левом и правом положениях.

7.6 Таблица сигналов и команд, используемые в системе автоматизации

Таблица 8 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

№	Входные сигналы или команды	Обозначение	Тип сигнала
Источник сигнала – сенсорный монитор			
1	Пуск готовности схем	Пуск	Нажата
2	Стоп готовности схем	Стоп	Нажата
3	Ручной/автоматический режим	Руч_реж	Включен
4	Аварийная остановка приводов	Авар	Нажата
5	Сброс аварии	Сбр_авар	Нажата
6	Подача заготовок < 6 метров	З_мал	Включен
7	Подача заготовок ≥ 6 метров	З_бол	Включен
8	Пуск ручного режима подающего рольганга вперед	В_под_рол	Нажата
9	Пуск ручного режима подающего рольганга назад	Н_под_рол	Нажата
10	Пуск ручного режима левого пакетирующего рольганга вперед	В_лев_рол	Нажата
11	Пуск ручного режима левого пакетирующего рольганга назад	Н_лев_рол	Нажата
12	Пуск ручного режима правого пакетирующего рольганга вперед	В_прав_рол	Нажата
13	Пуск ручного режима правого пакетирующего рольганга назад	Н_прав_рол	Нажата
14	Пуск ручного режима перекидной линейки «левый стол»	Лин_лев_стол	Нажата
15	Пуск ручного режима перекидной линейки «правый стол»	Лин_прав-стол	Нажата
Источники сигнала – датчики технологической информации			
16	Оптический датчик в положении Л20	Л20	Есть
17	Оптический датчик в положении Л25	Л25	Есть
18	Оптический датчик в положении П20	П20	Есть
19	Оптический датчик в положении П25	П25	Есть
20	Датчик перекидной линейки в положении «левый стол»	Д_лев_стол	Есть
21	Датчик перекидной линейки в положении «правый стол»	Д_прав_стол	Есть
Источники сигнала – привода двигателей			
22	Готовность преобразователя подающего рольганга	ГППП	Есть
23	Готовность преобразователя левого транспортировочного рольганга	ГПЛР	Есть



Продолжение таблицы 8

№	Входные сигналы или команды	Обозначение	Тип сигнала
24	Готовность преобразователя правого транспортировочного рольганга	ГППР	Есть
25	Готовность преобразователя перекидной линейки	ГППЛ	Есть
26	Питание датчиков	Пит_дат	Есть

Выходные сигналы для системы автоматизации приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

№	Выходные команды	Обозначение	Тип сигнала
1	Индикатор «Питания»	Пит	Есть
2	Индикатор «Готовность схем»	ГСх	Есть
3	Вперед рольганг подающий	ВРПод	Есть
4	Назад рольганг подающий	НРПод	Есть
5	Вперед рольганг левый	ВРЛев	Есть
6	Назад рольганг левый	НРЛев	Есть
7	Вперед рольганг правый	ВРПрав	Есть
8	Назад рольганг правый	НРПрав	Есть
9	Линейка «левый стол»	Лин_лев	Есть
10	Линейка «правый стол»	Лин_прав	Есть
11	Индикатор «Авария линейки»	Авар_лин	Есть
12	Предупреждающая сигнализация	Сигнал	Есть
13	Авария	Авария	Есть
14	Таймер 1	$\overline{Д\_прав\_стол}^{16с}$	Есть
15	Таймер 2	$\overline{Д\_лев\_стол}^{16с}$	Есть

### 7.7 Составление логических уравнений в командах

1 Сигнал питания «Пит» возникает при наличии питания приводов двигателей, питания датчиков.

$$\text{Пит} = \text{ГППР} \cdot \text{ГПЛР} \cdot \text{ГППР} \cdot \text{ГППЛ} \cdot \text{Пит\_дат}.$$

2 Сигнал готовность схем «ГСх» возникает при нажатой кнопке пуск «Пуск» и есть сигналы готовности преобразователей подающего рольганга «ГППР», левого пакетирующего рольганга «ГПЛР», правого пакетирующего рольганга «ГППР» и перекидной линейки «ГППЛ», есть питание датчиков «Пит\_дат».

Также сигнал возникает, если перекидная линейка находится в исходном положении «Д\_прав\_стол», есть сигнал «Пит», нет сигнала «Авар», и не нажаты кнопки стоповые «Стоп» и «Руч\_реж», нет нажатых аварийных кнопок.

Все перечисленные логические условия могут быть записаны при помощи логических уравнений:

$$ГСх = (Д\_прав\_стол \cdot Пуск + ГСх) \cdot Пит \cdot ГПРП \cdot ГПЛР \cdot ГППР \cdot ГППЛ \cdot \\ \cdot Пит\_дат \cdot \overline{Стоп} \cdot \overline{Авария} \cdot \overline{Руч\_реж}.$$

3 Режим работы подающего рольганга вперед «ВРПод» возникает в автоматическом и ручном режимах:

$$ВРПод = ГСх \cdot (Д\_прав\_стол + Д\_лев\_стол) \cdot \overline{Руч\_реж} + В\_под\_рол \cdot Руч\_реж.$$

4 Режим работы подающего рольганга назад «НРПод» возникает в ручном режиме:

$$НРПод = Н\_под\_рол \cdot Руч\_реж.$$

5 Режим работы левого пакетирующего рольганга вперед «ВРЛев» возникает в автоматическом и ручном режимах:

$$ВРЛев = ГСх \cdot Д\_лев\_стол \cdot \overline{Руч\_реж} + В\_лев\_рол \cdot Руч\_реж.$$

6 Режим левого пакетирующего рольганга назад «НРЛев» возникает в ручном режиме:

$$НРЛев = Н\_лев\_рол \cdot Руч\_реж.$$

7 Режим работы правого пакетирующего рольганга вперед «ВРПрав» возникает в автоматическом и ручном режимах:

$$ВРПрав = ГСх \cdot Д\_прав\_стол \cdot \overline{Руч\_реж} + В\_прав\_рол \cdot Руч\_реж.$$

8 Режим работы правого пакетирующего рольганга назад «НРПрав» возникает в ручном режиме:

$$НРПрав = Н\_прав\_рол \cdot Руч\_реж.$$

9 Перекидная линейка может работать в автоматическом и ручном режимах. Автоматический режим начинается с команды перемещения заготовок на правый стол «Лин\_прав». Линейка будет находиться в положении «Д\_прав\_стол» при наличии сигнала готовности схем «ГСх».

Команда сохраняется до тех пор, пока заготовка не достигнет крайнего положения «П25» при нажатой кнопке «З\_мал».

Аналогично, команда «Лин\_лев\_стол» сохраняется до тех пор, пока заготовка не достигнет крайнего положения «Л25». В ручном режиме «Лин\_прав», «Лин\_лев» возникают, когда поданы соответственные команды.

$$\text{Лин\_прав} = (\text{ГСх} \cdot \text{Л25} \cdot (\text{З\_мал} + \text{З\_бол}) + \text{Лин\_прав}) \cdot \overline{\text{Д\_прав\_стол}} + \text{Руч\_реж} \cdot \text{Лин\_прав\_стол}.$$

$$\text{Лин\_лев} = (\text{ГСх} \cdot \text{П25} \cdot \text{З\_мал} + \text{Лин\_лев}) \cdot \overline{\text{Д\_лев\_стол}} + \text{Руч\_реж} \cdot \text{Лин\_лев\_стол}.$$

10 Сигнал авария линейки «Авар\_лин» возникает, когда перекидная линейка не занимает одно из фиксированных положений в течение 6 секунд.

$$\text{Авар\_лин} = (\overline{\text{Д\_прав\_стол}}^{6\text{с}} \cdot \overline{\text{Д\_лев\_стол}}^{6\text{с}} + \text{Авар\_лин}) \cdot \overline{\text{Сбр\_авар}} \cdot \overline{\text{Руч\_реж}}.$$

11 Предупреждающая сигнализация подается, если на одном пакетирующем столе находится 25 заготовок, а на другой стол уже подано 20 заготовок. Также, если подано 20 заготовок на правый рольганг при нажатой кнопке «З\_бол».

$$\text{Сигнал} = \text{П25} \cdot \text{Л20} + \text{Л25} \cdot \text{П20} + \text{П20} \cdot \text{З\_бол}.$$

12 Сигнал аварийного режима «Авария» возникает если нет сигналов «Пит», «ГПРП», «ГПЛР», «ГППР», «ГППЛ», «Пит\_дат», отсутствуют сигналы о положении перекидной линейки в одном из положений, наличие 25 заготовок на обоих столах, нажата аварийная кнопка. При этом снимается сигнал «ГСх».

$$\text{Авария} = (\overline{\text{Пит}} + \overline{\text{ГПРП}} + \overline{\text{ГПЛР}} + \overline{\text{ГППР}} + \overline{\text{Пит\_дат}} + (\text{П25} \cdot \text{З\_бол}) + \overline{\text{ГППЛ}} + (\text{П25} \cdot \text{Л25}) + \text{Авар} + \text{Авар\_лин} + \text{Авария}) \cdot \overline{\text{Сбр\_авар}} \cdot \overline{\text{Руч\_реж}}.$$

На основе полученных логических уравнений можно построить требуемую систему автоматизации. Наиболее удобным в настройке, отладки и эксплуатации является построение системы автоматизации на базе программируемого контроллера (ПК). Использование ПК позволяет:

- упростить создание системы автоматизации;
- расширить возможности диагностики неисправностей;
- упростить наладку системы при изменении технологических требований.

## 8 ВЫБОР АППАРАТУРЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ И ЭЛЕМЕНТОЙ БАЗЫ

### 8.1 Выбор управляющего устройства

Для управления системой автоматизации процесса необходимо выбрать управляющее устройство.

Наличие большого количества входных и выходных сигналов, возможность самодиагностики ПК определило применение в данной системе автоматизации программируемого контроллера типа *SIMATIC S7-300* (рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Контроллер типа *SIMATIC S7-300*

#### 8.1.1 Общие сведения

Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-300 предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Модульная конструкция контроллера S7-300, работа с естественным охлаждением, возможность применения структур локального и распределенного ввода-вывода, широкие коммуникационные возможности, множество функций, поддерживаемых на уровне операционной системы.

Высокое удобство эксплуатации и обслуживания обеспечивают возможность получения оптимальных решений для построения систем автоматического управления технологическими процессами в различных областях промышленного производства.

Использование нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкой гаммы модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров повышает эффективность применения контроллеров *SIMATIC S7-300*.

Программируемые контроллеры *Siemens SIMATIC S7-300* имеют модульную конструкцию и состоят из таких элементов:

– центральные процессоры – модуль центрального процессора (*CPU*). В зависимости от сложности задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, которые отличаются производительностью, размером памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и типом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.;

– блоки питания – блоки питания (*PS*) обеспечивают питание контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230 В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110 В;

– сигнальные модули *SM* – сигнальные модули (*SM*), предназначены для ввода и вывода дискретных или аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами;

– коммуникационные модули – коммуникационные процессоры (*CP*) обеспечивают возможность подключения к сетям *PROFIBUS*, *Industrial Ethernet*, *AS-Interface* или организации связи по *PtP (point to point)* интерфейсу;

– функциональные модули – функциональные модули (*FM*), могут самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов;

– интерфейсные модули – интерфейсные модули (ИМ), обеспечивают возможность подключения к базовому блоку (стойка с CPU) стоек расширения ввода-вывода. Программируемые контроллеры *Siemens SIMATIC S7-300* позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, а также коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам. Все модули работают с естественным охлаждением [14].

## 8.2 Выбор датчиков

В качестве датчиков информации о положении перекидной линейки в левом и правом положениях выбраны аналоговые индуктивные датчики положения (2шт), бесконтактного типа ДПА-М30-91У-2110-Н (рисунок 8.2). Датчик срабатывает при приближении металлического тела [15]. Основные технические характеристики датчика приведены в таблице 10.



Рисунок 8.2 – Индуктивный датчик ДПА-М30-91У-2110-Н

Таблица 10 – Характеристики датчика ДПА-М30-91У-2110-Н

Наименование характеристики	Единица измерения	Величина
Диапазон рабочих напряжений	В	10-30

Продолжение таблицы 10

Рабочая зона чувствительности	мм	3...15
Токовый выход	мА	1,5-20

В качестве датчиков информации о наличии заготовок на пакетирующих столах выбраны оптические бесконтактные выключатели (4шт) типа ВБО-М18-76К-7111-С (рисунок 8.3) [16]. Основные технические характеристики приведены в таблице 11.



Рисунок 8.3 – Оптический датчик ВБО-М18-76К-7111-С

Таблица 11 – Характеристики датчика ВБО-М18-76К-7111-С

Наименование характеристики	Единица измерения	Величина
Диапазон рабочих напряжений	В	10 ... 30
Зона чувствительности	м	400
Номинальный ток	мА	200

### 8.3 Выбор сенсорного монитора

Для управления технологическим объектом выбираем стационарную панель оператора фирмы *Siemens* модель *SIMATIC HMI TP700 COMFORT* (рисунок 8.4) [17]. Технические данные приведены в таблице 12.

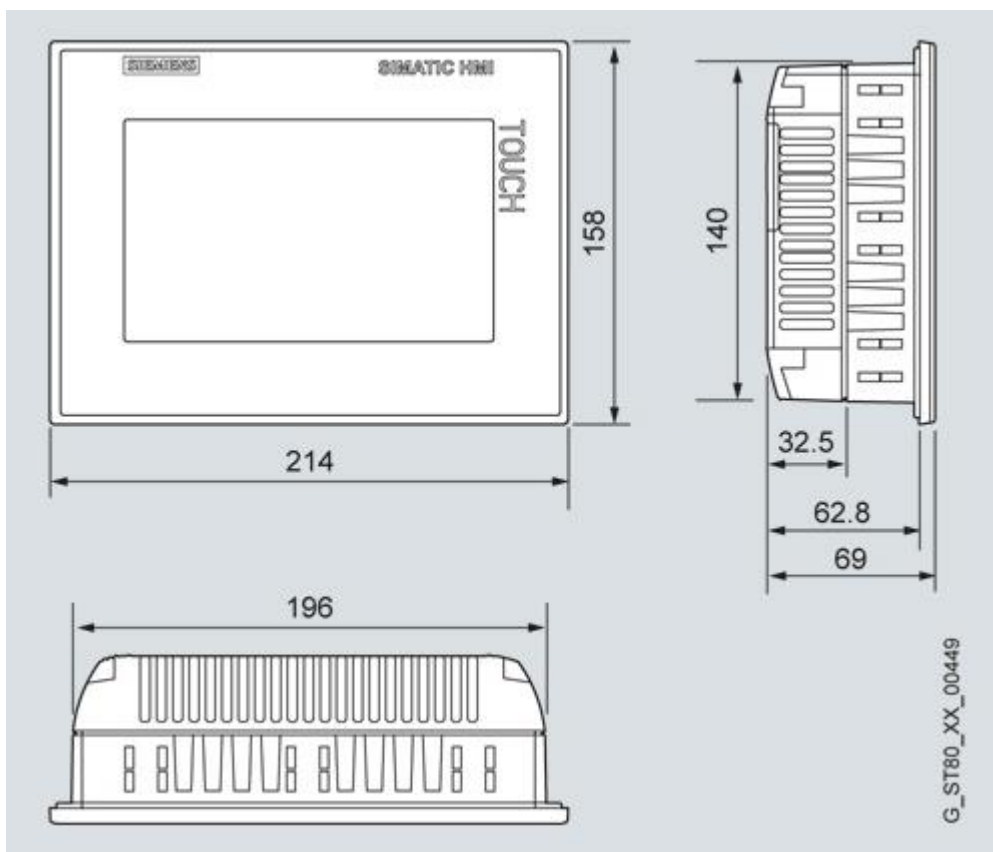


Рисунок 8.4 – Стационарная панель *SIMATIC HMI TP700 COMFORT*

Таблица 12 – Характеристики *SIMATIC HMI TP700 COMFORT*

Напряжение питания	24 В
Нормальная потребляемая мощность	12 Вт
Конфигурирование	<i>WinCC Comfort (TIA Portal); WinCC Advanced (TIA Portal); WinCC Professional (TIA Portal).</i>
Дисплей	<i>TFT, 16777216 цветов, 800x480 pixel</i>
Органы управления	Сенсорный экран
Интерфейсы	<i>Industrial Ethernet x 1; RS485 x 1, (комбинированный RS422/ RS485); USB 2.0 x 2; USB-Mini-B (5-полюсный) x 1; Слот SD Card x 1.</i>

#### 8.4 Выбор источников питания

Для обеспечения питания датчиков, входных и выходных модулей программируемого контроллера необходимо выбрать блок питания.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Требуемая мощность блока питания определяется суммой мощностей потребителей, нагруженных на него, причем для оптимального использования необходимо учитывать то, что не все потребители включены одновременно. Для упрощения выбора, а также для обеспечения запаса, мощность блока питания выбирается по суммарной мощности всех потребителей. В таблице 13 представлен расчет требуемой мощности блока питания.

Таблица 13 – Расчет требуемой мощности блока питания

Наименование потребителя	Потребляемый ток, А	Количество потребителей, шт	Мощность потребления, Вт
Индуктивный датчик ДПА-М30-91У-2110-Н	0,02	2	0,96
Оптический датчик ВБО-М18-76К-7111-С	0,2	4	19,2
Интерфейс <i>PROFINET/Industrial Ethernet</i>	0,2	1	4,8
Входные цепи <i>S7-300</i>	0,015	5	1,8
Выходные цепи <i>S7-300</i> (максимум 2А)	0,5	8	96
Сенсорная панель <i>SIMATIC HMI TP700 COMFORT</i>	1	1	24
Суммарная мощность потребителей, Вт			146,76

По полученному значению суммарной потребляемой мощности выбраны 2 блока питания:

- Блок питания для датчиков БП30Б-ДЗ-15 (рисунок 8.5, таблица 14) [18].



Рисунок 8.5 – Блок питания БП30Б-Д3-15

Таблица 14 – Технические характеристики блока питания БП30Б-Д3-15

Входное напряжение: – переменного тока, В – постоянного тока, В	90...264 110...370
Частота входного переменного напряжения, Гц	47...63
Коэффициент полезного действия, %	≥ 85
Степень защиты корпуса	IP20
Мощность, Вт	30
Выходное напряжение, В	24
Макс. выходной ток, А	1,25

- Блок питания для контроллера и панели *PS3100.1* (рисунок 8.6, таблица 15) [19].



Рисунок 8.6 – Блок питания *PS3100.1*

Таблица 15 – Технические характеристики блока питания *PS3100.1*

Входное напряжение: – переменного тока, В – постоянного тока, В	85...264 120...375
Частота входного переменного напряжения, Гц	47...63
Коэффициент полезного действия, %	≥ 84
Степень защиты корпуса	<i>IPx0</i>
Мощность, Вт	240
Выходное напряжение, В	24
Макс. выходной ток, А	10

## 9 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

На основе описания технологического процесса, содержательного описания автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд, с учетом выбора программируемого контроллера составлена схема электрическая функциональная, представленная на рисунке 9.1.

В соответствии с указанными обозначениями отдельных объектов:

1 – панель управления;

2 – блок управления;

3, 4, 5, 6, 7, 8 – датчики положения;

9 – СУД подающего рольганга;

10 – СУД левого пакетирующего рольганга;

11 – СУД правого пакетирующего рольганга;

12 – СУД перекидной линейки;

M1... M16 – двигатель подающего рольганга;

M17...M36 – двигатели левого пакетирующего рольганга;

M37...M56 – двигатели правого пакетирующего рольганга;

M57 – двигатель перекидной линейки;

13 – блок питания датчиков и контроллера.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

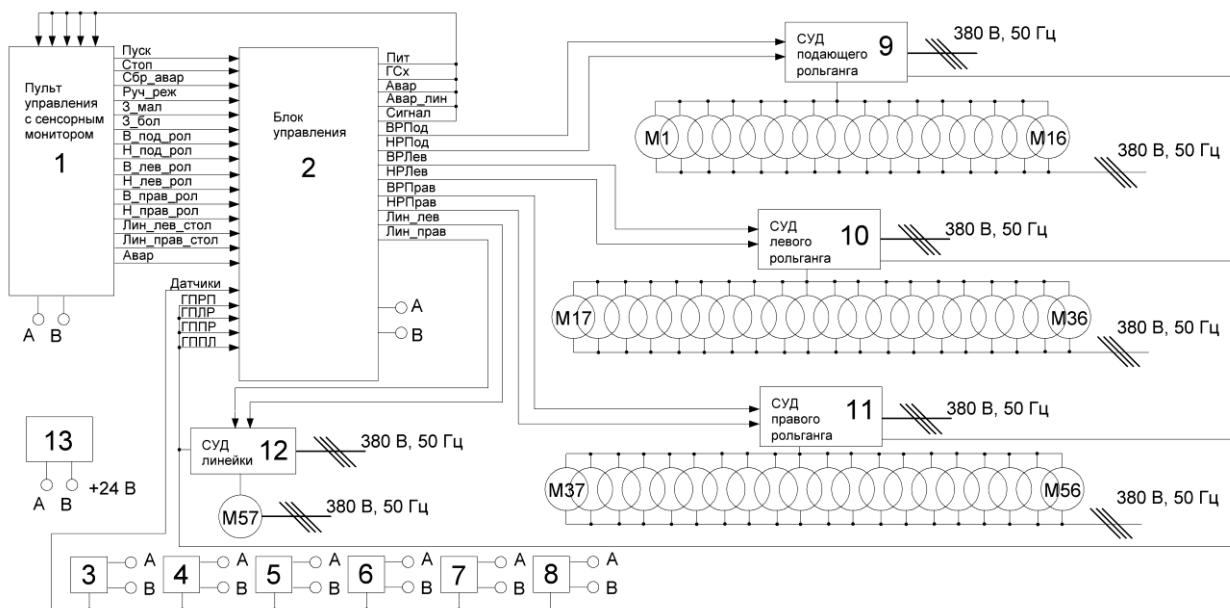


Рисунок 9.1 – Функциональная схема

Система автоматизации состоит из следующих элементов:

- панель управления;
- программируемый контроллер *SIMATIC S7-300*;
- блок питания датчиков;
- датчики технологической информации;
- система управления двигателем подающего рольганга;
- система управления двигателем левого пакетирующего рольганга;
- система управления двигателем правого пакетирующего рольганга;
- система управления двигателем перекидной линейки;
- двигатели рольгангов;
- двигатель перекидной линейки.

На панели управления (рисунок 9.2) расположены следующие элементы:

- кнопка пуск «Пуск»;
- кнопка стоп «Стоп»;
- кнопка «Аварийное отключение приводов»;
- кнопка «Сброс аварии»;
- кнопка ручной режим работы;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- кнопка «заготовки  $\geq$  6м» режим работы;
- кнопка «заготовки  $<$  6м» режим работы;
- индикатор питания;
- индикатор аварии;
- индикатор аварии линейки;
- индикатор готовности схем;
- индикатор предупреждающей сигнализации;
- кнопка «Вперед подающий рольганг»;
- кнопка «Назад подающий рольганг»;
- кнопка «Вперед левый пакетирующий рольганг»;
- кнопка «Назад левый пакетирующий рольганг»;
- кнопка «Вперед правый пакетирующий рольганг»;
- кнопка «Назад правый пакетирующий рольганг»;
- кнопка «Перекидная линейка на левый стол»;
- кнопка «Перекидная линейка на правый стол».

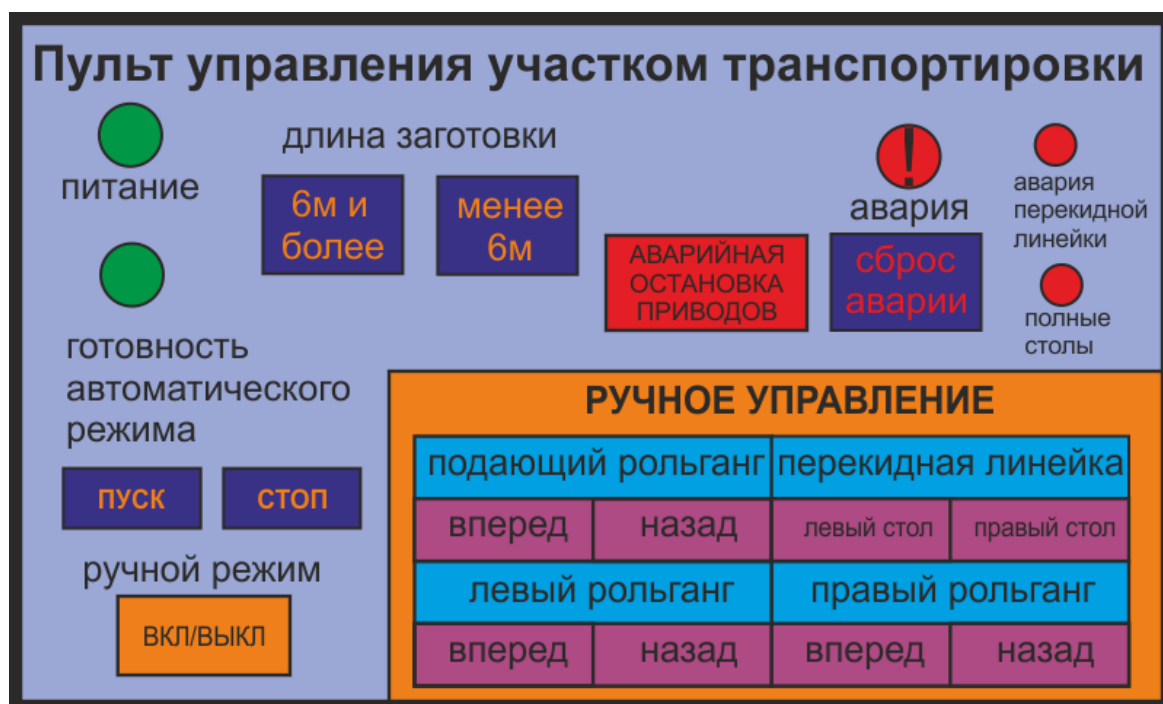


Рисунок 9.2 – Панель управления оператора

На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации. Основным связующим элементом является программируемый контроллер. По количеству входных и выходных сигналов определено количество модулей ввода/вывода: для дискретных входных сигналов использован 1 модуль ввода на 16 входов, для дискретных выходных сигналов использован 1 модуль вывода на 8 выходов.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

## 10 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В соответствии с функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 9.1) и выбранной элементной базой составлена принципиальная схема, которая представлена на чертеже 414.02ЭЗ. Перечень элементов приведен в приложении 414.02.ПЭ

Автоматические выключатели QF2 – QF5 выполняют функцию защиты системы от коротких замыканий.

Блоки питания А3, А4 с напряжением на выходе +24 В питают основные низковольтные элементы: бесконтактные оптические датчики, бесконтактные индуктивные датчики, контроллер с модулями А2. На схеме клеммы блоков питания указаны в соответствии с паспортными данными. Выбор блока питания описан в пункте 8.4.

В системе используются бесконтактные оптические SQ1 – SQ4 и бесконтактные индуктивные датчики SQ5, SQ6. В соответствии со схемой производится подключение информационных выходов датчиков (черный провод) к входам модуля ввода. Питание датчиков осуществляется следующим образом: коричневый провод подключен к +24 В, синий к GND. Выбор датчиков описан в пункте 8.2.

Двигатели переменного тока с короткозамкнутым ротором М1, М2, М8, М9, М14, М15, М22, М23, М30, М31, М38, М39, М46, М47, М52, М53 управляются преобразователем частоты UZ1, двигатели М3, М4, М10, М11, М16, М17, М18, М24, М25, М26, М32, М33, М34, М40, М41, М42, М48, М49, М54, М55 – UZ2, двигатели М5, М6, М12, М13, М19, М20, М21, М27, М28, М29, М35, М36, М37, М43, М44, М45, М50, М51, М56, М57 – UZ3, двигатель М7 управляется преобразователем частоты UZ4. Преобразователи частоты получают питание от сети трехфазного напряжения 380 В.

Пульт управления с сенсорной панелью А1 подключен к модулю контроллера А2.1 через DP порт. Питание осуществляется от блока питания А4.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66



Система получает питание после включения пускателя КМ1, то есть нажатия на кнопку SB1. Аварийное отключение осуществляется нажатием на кнопку SB2 в цепи пускателя. Тем самым обеспечивая защиту от самопроизвольного запуска при исчезновении и последующем появлении питания.

Управление приводами всех механизмов осуществляется через программируемый контроллер А2, в зависимости от режима работы, который включает и отключает привода в соответствии с входными сигналами и по заданной программе.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

## 11 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Перед составлением программы необходимо определить адреса входных и выходных переменных в соответствии с их подключением к программируемому устройству, а также задать адреса промежуточных переменных. Указанная информация сведена в таблицу 16.

Таблица 16 – Адресация переменных, используемых в программе

№	Наименование сигнала или команды	Обозначение в содержат. описании	Аппарат, формиру. сигнал	Адрес
<b>Входные сигналы</b>				
1	Оптический датчик в положении Л20	Л20	<i>SQ1</i>	<i>I0.0</i>
2	Оптический датчик в положении Л25	Л25	<i>SQ2</i>	<i>I0.1</i>
3	Оптический датчик в положении П20	П20	<i>SQ3</i>	<i>I0.2</i>
4	Оптический датчик в положении П25	П25	<i>SQ4</i>	<i>I0.3</i>
5	Датчик перекидной линейки в положении «левый стол»	Д_лев_стол	<i>SQ5</i>	<i>I0.4</i>
6	Датчик перекидной линейки в положении «правый стол»	Д_прав_стол	<i>SQ6</i>	<i>I0.5</i>
7	Готовность привода подающего рольганга	ГППП	<i>UZ1</i>	<i>I0.6</i>
8	Готовность привода левого транспортировочного рольганга	ГПЛР	<i>UZ2</i>	<i>I0.7</i>
9	Готовность привода правого транспортировочного рольганга	ГППР	<i>UZ3</i>	<i>I1.0</i>
10	Готовность привода перекидной линейки	ГППЛ	<i>UZ4</i>	<i>I1.1</i>
11	Питание датчиков	Пит_дат	<i>A3</i>	<i>I1.2</i>
12	Пуск готовности схем	Пуск	<i>A1</i>	<i>MO.1</i>
13	Стоп готовности схем	Стоп	<i>A1</i>	<i>MO.2</i>
14	Ручной/автоматический режим	Руч_реж	<i>A1</i>	<i>MO.3</i>
15	Аварийная остановка приводов	Авар	<i>A1</i>	<i>MO.4</i>

Продолжение таблицы 16

№	Наименование сигнала или команды	Обозначение в содержат. описании	Аппарат, формир. сигнал	Адрес
16	Сброс аварии	Сбр_авар	A1	M0.5
17	Подача заготовок < 6 метров	З_мал	A1	M0.6
18	Подача заготовок ≥ 6 метров	З_бол	A1	M0.7
19	Пуск ручного режима подающего рольганга вперед	В_под_рол	A1	M1.0
20	Пуск ручного режима подающего рольганга назад	Н_под_рол	A1	M1.1
21	Пуск ручного режима левого пакетирующего рольганга вперед	В_лев_рол	A1	M1.2
22	Пуск ручного режима левого пакетирующего рольганга назад	Н_лев_рол	A1	M1.3
23	Пуск ручного режима правого пакетирующего рольганга вперед	В_прав_рол	A1	M1.4
24	Пуск ручного режима правого пакетирующего рольганга назад	Н_прав_рол	A1	M1.5
25	Пуск ручного режима перекидной линейки «левый стол»	Лин_лев_стол	A1	M1.6
26	Пуск ручного режима перекидной линейки «правый стол»	Лин_прав_стол	A1	M1.7
<b>Выходные команды</b>				
1	Питание	Пит	A2	Q0.0
2	Готовность схем	ГСх	A2	Q0.1
3	Вперед рольганг подающий	ВРПод	A2	Q0.2
4	Назад рольганг подающий	НРПод	A2	Q0.3
5	Вперед левый рольганг	ВРЛев	A2	Q0.4
6	Назад левый рольганг	НРЛев	A2	Q0.5
7	Вперед правый рольганг	ВРПрав	A2	Q0.6
8	Назад правый рольганг	НРПрав	A2	Q0.7
9	Линейка «левый стол»	Лин_лев	A2	Q1.0
10	Линейка «правый стол»	Лин_прав	A2	Q1.1
11	Авария линейки	Авар_лин	A2	Q1.2
12	Предупреждающая сигнализация	Сигнал	A2	Q1.3

Продолжение таблицы 16

№	Наименование сигнала или команды	Обозначение в содержат. описании	Аппарат, формирующий сигнал	Адрес
13	Авария	Авария	A2	Q1.4
14	Таймер1	$\overline{Д\_лев\_стол}^{\uparrow 6с} \cdot \overline{Д\_прав\_стол}^{\uparrow 6с}$	A2	M2.0

С учетом принятой адресации, составленные при разработке алгоритма автоматизации, уравнения сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Уравнения, с учетом принятой адресации

Команда	Уравнение
Пит	$I0.6 \cdot I0.7 \cdot I1.0 \cdot I1.1 \cdot I1.2 = Q0.0$
ГСх	$(I0.5 \cdot M0.1 + Q0.1) \cdot Q0.0 \cdot I0.6 \cdot I0.7 \cdot I1.0 \cdot I1.1 \cdot I1.2 \cdot \overline{M0.2} \cdot \overline{Q1.4} \cdot \overline{M0.3} = Q0.1$
ВРПод	$Q0.1 \cdot (I0.5 + I0.4) \cdot \overline{M0.3} + M1.0 \cdot M0.3 = Q0.2$
НРПод	$M1.1 \cdot M0.3 = Q0.3$
ВРЛев	$Q0.1 \cdot I0.4 \cdot \overline{M0.3} + M1.2 \cdot M0.3 = Q0.4$
НРЛев	$M1.3 \cdot M0.3 = Q0.5$
ВРПрав	$Q0.1 \cdot I0.5 \cdot \overline{M0.3} + M1.4 \cdot M0.3 = Q0.6$
НРПрав	$M1.5 \cdot M0.3 = Q0.7$
Лин_лев	$(Q0.1 \cdot I0.3 \cdot M0.6 + Q1.0) \cdot I0.4 + M0.3 \cdot M1.6 = Q1.0$
Лин_прав	$(Q0.1 \cdot I0.1 \cdot (M0.6 + M0.7) + Q1.1) \cdot I0.5 + M0.3 \cdot M1.7 = Q1.1$
Авар_лин	$(\overline{M2.0} + Q1.2) \cdot \overline{M0.5} \cdot \overline{M0.3} = Q1.2$
Сигнал	$I0.3 \cdot I0.0 + I0.1 \cdot I0.2 + I0.2 \cdot M0.7 = Q1.3$
Авария	$(\overline{Q0.0} + \overline{I0.6} + \overline{I0.7} + \overline{I1.0} + \overline{I1.1} + \overline{I1.2} + (I0.3 \cdot I0.1) + M0.4 + Q1.2 + Q1.4) \cdot \overline{M0.5} \cdot \overline{M0.3} = Q1.4$
Инициализация таймеров	$M2.0 = T1$ $S5T\#6S$

Ниже приведена часть программы на языке лестничных диаграмм:

Network 1 : Пит

Comment:



Рисунок 11.1а – Лестничные диаграммы

Network 2 : ГСх

Comment:



Рисунок 11.2а – Лестничные диаграммы

Network 4 : НРПод

Comment:

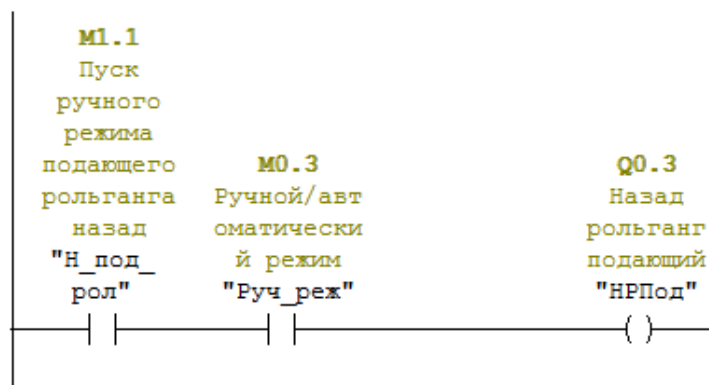


Рисунок 11.3а – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Network 5 : ВРЛев

Comment:

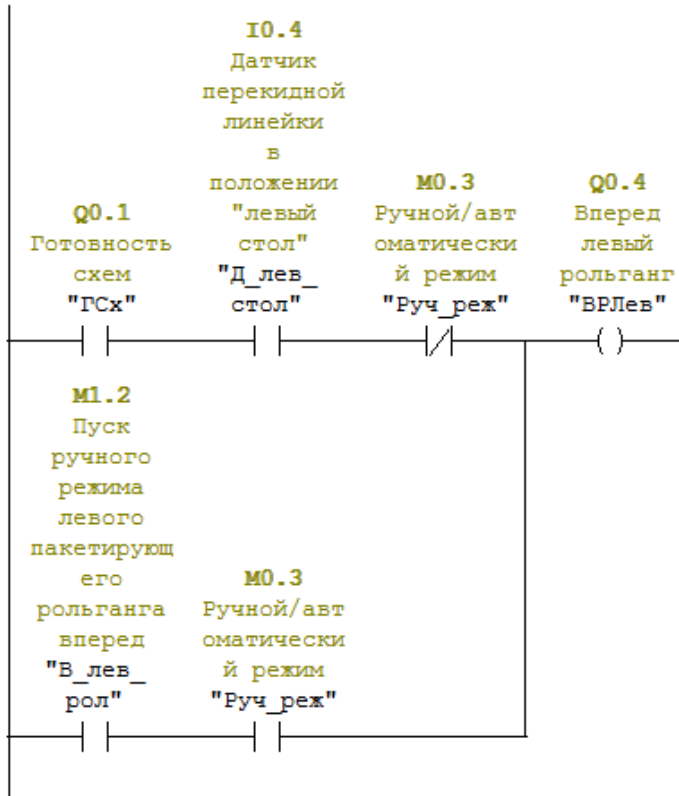


Рисунок 11.4а – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ

Лист

72

Network 7 : ВРПрав

Comment:

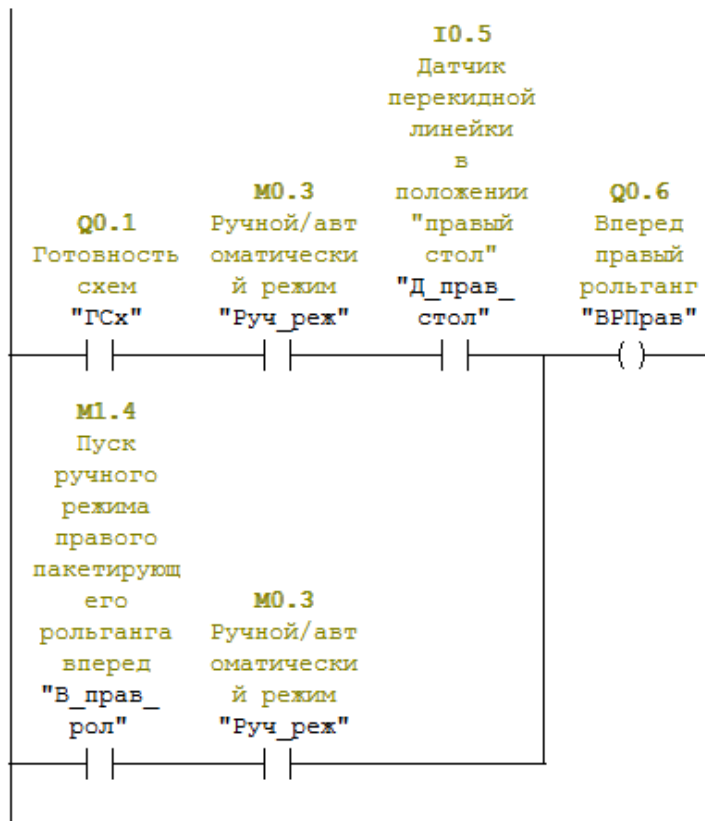


Рисунок 11.5а – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ

Лист

73

Network 10 : Лин\_лев

Comment:

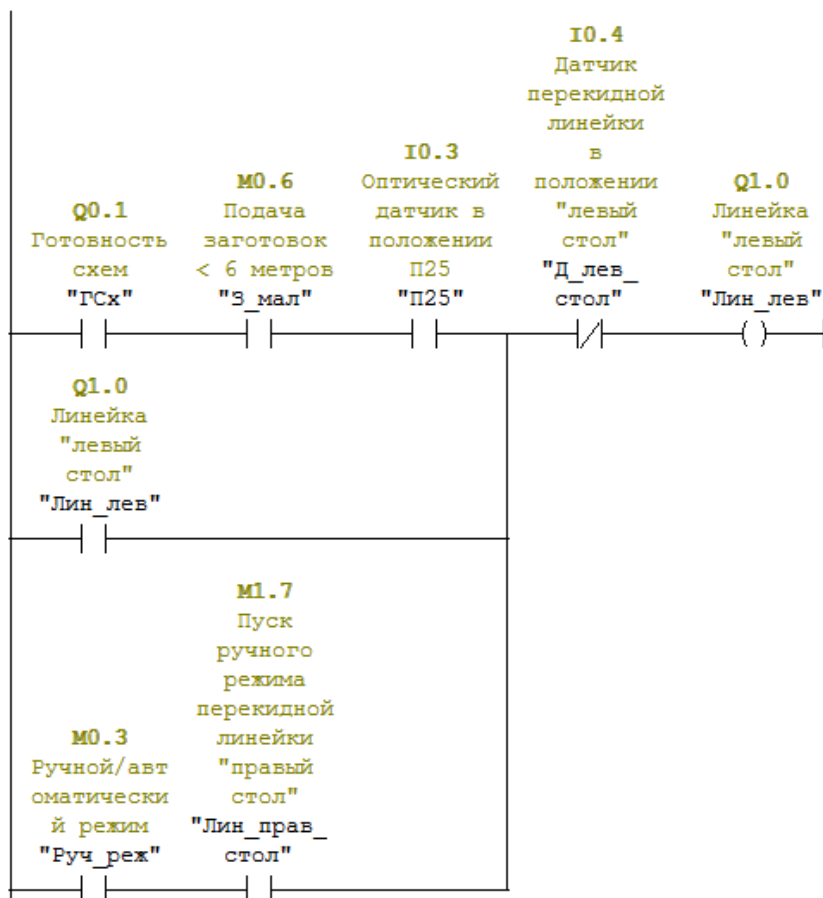


Рисунок 11.6а – Лестничные диаграммы

Network 11 : Авар\_лин

Comment:

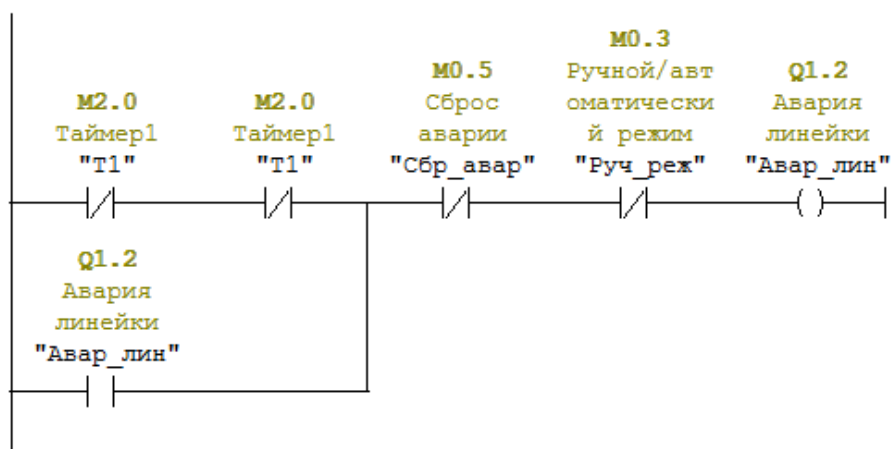


Рисунок 11.7а – Лестничные диаграммы

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------



Network 12 : Сигнал

Comment:

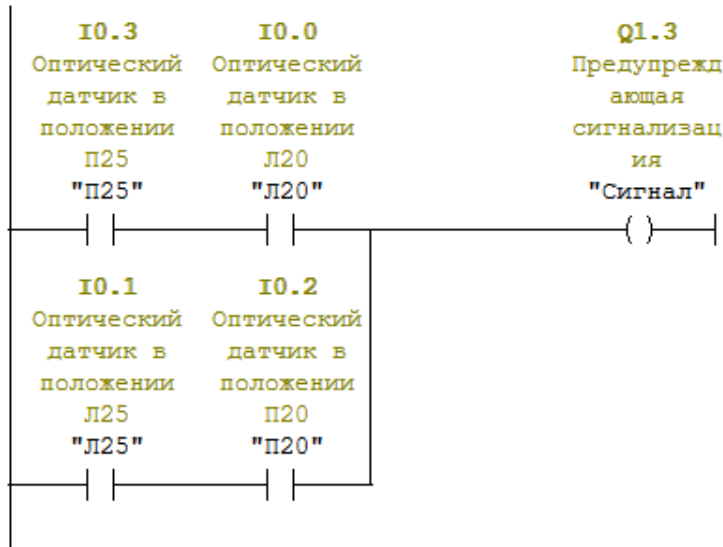


Рисунок 11.8а – Лестничные диаграммы

Network 15 : Таймер 1

Comment:

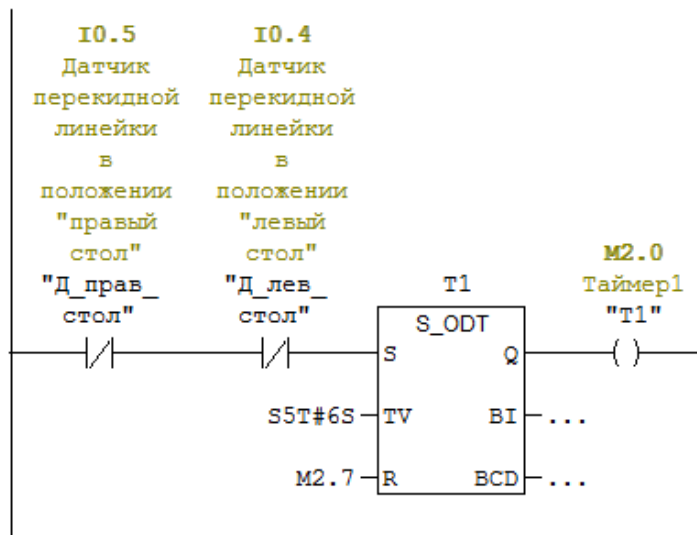


Рисунок 11.9а – Лестничные диаграммы

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте было необходимо спроектировать электропривод и систему автоматизации участка непрерывно-заготовочного стана, а именно ЭП и АСУ подающего и пакетирующих рольгангов.

В ходе проектирования были рассчитаны необходимые скорости вращения роликов. Были рассчитаны динамические и статические моменты, выбран асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа *AP160S6* мощностью 4,8 кВт, преобразователи частоты *Unidrive M701-094 02000 A* мощностью 90 кВт и номинальным током 221 А, *Unidrive M701-094 02240 A* мощностью 110 кВт и номинальным током 266 А. Для управления перекидной линейкой был выбран двигатель *AP160M12* с мощностью 1,1 кВт, а также преобразователь частоты *Unidrive M701-024 00041 A* мощностью 1,5 кВт и номинальным током 4,5 А.

Для управления автоматизацией был выбран контроллер *SIMATIC S7-300*, управляемый с помощью сенсорной панели оператора *SIMATIC HMI TP700 COMFORT*. Питание контроллера осуществляется блоком питания *PS3100.1* мощностью 240 Вт и выходным током 10 А.

В заключение можно сказать, что рассчитанный и выбранный частотно регулируемый электропривод и АСУ механизма подающего и пакетирующих рольгангов удовлетворяет условиям работы и обеспечивает все необходимые современные требования, предъявляемые к крановому электроприводу.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2017.414.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		76

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Машина непрерывного литья заготовок криволинейного типа. – <http://rus-eng.org/invention/Mashina%20nepreryvnogo%20lit%27ya%20zagotovo k%20krivolinejnogo%20tipa.htm> (дата обращения: 10.05.2017).
- 2 Машина непрерывного литья заготовок. – <http://steeltimes.ru/glossary/eng/C/continuouscastingmachine.php> (дата обращения 08.05.2017).
- 3 Требование к системе. – <http://automation-system.ru/spravochnik-inzhenera/34-glava7/305-7-5.html> (дата обращения: 10.05.2017).
- 4 Гилев А.В. Металлургические подъемно-транспортные машины: Конспект лекций для студентов специальности 150404 / А.В. Гилев, А.А Анушенков, А.Ю. Стовманенко, А.О. Шигин и др.; СФУ. – Красноярск, 2008. – 252 с.
- 5 Модернизация электропривода рольганга. – <http://www.studfiles.ru/preview/4287876/page:8/> (дата обращения: 10.05.2017).
- 6 Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
- 7 Выравнивание нагрузки в регулируемых электроприводах. – <http://www.studfiles.ru/preview/4247167/page:22/> (дата обращения: 10.05.2017).
- 8 Расчет и построение тахограммы электропривода рольганга. – <http://www.studfiles.ru/preview/4287876/page:20/> (дата обращения: 10.05.2017).
- 9 Режим работы электродвигателя. – [http://www.ges.ru/book/book\\_bemz\\_air/10.htm](http://www.ges.ru/book/book_bemz_air/10.htm) (дата обращения: 10.05.2017).

- 10 Рольганговые электродвигатели. –  
<http://www.kranros.ru/upload/medialibrary/a0d/a0df1380764773b29c1e55c643799e7b.pdf> (дата обращения: 10.05.2017).
- 11 Преобразователь частоты UNIDRIVE M600. –  
<http://driveka.ru/catalog/1513.html> (дата обращения: 10.05.2017).
- 12 Борисов А.М. Автоматизация технологических процессов (технические средства, проектирование, лабораторный практикум): Учебное пособие / А.М. Борисов., Н.Е. Лях. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – Ч.1. – 404 с.
- 13 ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 14 с.
- 14 S7-300 Программируемый контроллер. – <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-300.htm> (дата обращения: 10.05.2017).
- 15 Датчик положения аналоговый индуктивный. – <http://www.sensor-com.ru/sensors/dpa-m30-91u-2110-n> (дата обращения: 10.05.2017).
- 16 Датчик бесконтактный оптический типа R. – <http://www.sensor-com.ru/sensors/vbo-m18-76s-7111-s> (дата обращения: 10.05.2017).
- 17 Стационарные панели операторов SIMATIC HMI Comfort (6AV2124-0GC01-0AX0). – [https://www.siemens-pro.ru/hmi/hmi\\_comfort\\_panel/6AV2124-0GC01-0AX0.html](https://www.siemens-pro.ru/hmi/hmi_comfort_panel/6AV2124-0GC01-0AX0.html) (дата обращения: 10.05.2017).
- 18 Одноканальные блоки питания ОВЕН. Техническая документация. – <http://insat.ru/products/owen/bp04-15-30-60.pdf> (дата обращения: 10.05.2017).
- 19 PS3100.1 блок питания 24В (10 А). – <http://www.contravt.ru/?id=10085> (дата обращения: 10.05.2017).
- 20 Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию / Г.И. Драчев – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 168 с