

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра «Автоматизированный электропривод»
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

**Заведующий кафедрой
автоматизированного электропривода,
д.т.н., профессор**

_____ / М.А. Григорьев /
« ____ » _____ 2020 г.

Электропривод механизма качания кристаллизатора
МНЛЗ

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.105 ВКР**

Руководитель, должность

_____ / А.Е. Бычков /
« ____ » _____ 2020 г.

**Автор работы,
бакалавр группы П-477**

_____ / И.А. Крылов /
« ____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер, должность

_____ / Т.А. Функт /
« ____ » _____ 2020 г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Крылов И. А. Электропривод механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 74 с., 17 ил., 19 табл., библиографический список – 23 наим., 1 лист чертежей формата А3.

Целями данного выпускного квалификационного проекта являются проектирование системы электропривода механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок и системы автоматизации рабочего цикла машины непрерывного литья заготовок.

В первой части работы производится проектирование системы электропривода, который предназначен для перемещения и установки изделия на траверсу. Производится предварительный расчет мощности двигателя, затем выбор электродвигателя и редуктора, перерасчет моментов с учетом выбранных двигателя и редуктора., построение статических характеристик замкнутой и разомкнутой систем.

Во второй части производится разработка алгоритма автоматизации, составление логических уравнений, разработка функциональной схемы, схемы электрической принципиальной, выбор элементной базы и разработка программного обеспечения.

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.10ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.		Крылов И.А.			Электропривод механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Бычков А.Е.					4	74
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.		Функ Т.А.						
Утверд.		Григорьев М.А.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 НАЗНАЧЕНИЕ, ИСТОРИЯ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МНЛЗ	10
1.1 Назначение	10
1.2 История	11
1.3 Принцип действия МНЛЗ	13
2 ЭЛЕКТРОПРИВОД КРИСТАЛЛИЗАТОРА	20
2.1 Кинематическая схема	21
2.2 Предварительный выбор электродвигателя	23
2.3 Проверочный расчет с учетом параметров электродвигателя и редуктора	28
3 ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	32
3.1 Выбор тиристорного преобразователя	32
3.2 Выбор трансформатора.	32
4.Расчёт статических характеристик электропривода.	37
4.1 Расчёт механической характеристики в разомкнутой системе.....	37
4.2 Расчёт механической характеристики в замкнутой системе.	38
5 СПИСОК СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	40
6 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА.....	46
7 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	49
8 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	52
9 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ	61
10 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	62

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывная разливка стали, как метод получения литых слябов начала широко применяться в нашей стране и в других странах более 60 лет назад. За этот период машины непрерывной разливки стали постоянно изменялись и вводились доработки и совершенствования. Эти изменения привели к тому что технологический процесс МНЛЗ превратился в одно из важнейших звеньев металлургического производства, в значительной степени, определяющей его эффективность и качество всей металлопродукции.

Широкое внедрение машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) приводит к крупным технико-экономическим преимуществам нового метода получения заготовок для листовых, сортовых, трубных и некоторых других станов. При разливке стали на МНЛЗ увеличивается выход годного проката на 10-15%, снижается его себестоимость, повышается производительность труда. Значительный экономический эффект достигается за счёт сокращения капитальных затрат на строительство металлургического завода, так как это позволяет исключить почти большую часть хозяйства, связанного с разливкой, стали в изложницы, обжимными станами (слябинг или блюминг). В ряде случаев это позволяет исключить даже непрерывно-заготовочный стан. Благодаря исключению нагревательных колодцев, происходит уменьшение расхода электроэнергии. За счёт этого получается достигнуть существенной экономии топлива – энергетических ресурсов, из-за чего мы можем говорить, что у МНЛЗ есть весомые преимущества по сравнению с ранее устоявшимися методами получения стали.

Машины непрерывного литья заготовок позволили полностью механизировать и в значительной степени автоматизировать технологический процесс. Благодаря этому получилось улучшить условия труда рабочих, занятых разливкой, что в свою очередь позволило сократить эксплуатационные расходы.

Современная МНЛЗ - сложный многомашинный агрегат с большим числом автоматизированных электроприводов, систем автоматического регулирования и контроля.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

Если в доменном и конвертерном производстве электропривод решает задачи перемещения материалов и оборудования и не влияет непосредственно на качество металла, а на станах горячей прокатки от точности работы систем электропривода зависят геометрические размеры проката и качество поверхности, то на МНЛЗ электроприводы главных механизмов существенно влияют также на структуру и качество литой заготовки.

Высокая надёжность работы электрооборудования МНЛЗ исключительно важна, поэтому требования к нему являются более жёсткими, чем к электрооборудованию прокатных станов. Небольшая неисправность, которая вызывает кратковременную задержку работы прокатного стана, в свою очередь на МНЛЗ это может привести к потере всей плавки что вызовет огромные потери в производительности металла.

Сложность систем автоматизированного электропривода МНЛЗ обусловлена такими технологическими требованиями, как стабилизация скорости при нагрузке, пульсирующей с частотой 2 - 3 Гц, синхронизация вращения ряда электроприводов, слежение электропривода машины для газовой резки за перемещением слитка по двум координатам, автоматическая точная остановка электроприводов указанной машины и подъёмника заготовок, автоматическое регулирование уровня жидкой стали в кристаллизаторе воздействием на электропривод тянущих валков, ограничение первой и второй производных скорости главного электропривода для защиты от повреждения оболочки кристаллизующегося слитка.

Быстрый прогресс теории и практики электропривода МНЛЗ обусловлен как бурным развитием нового высокоэффективного технологического процесса, постоянным усложнением требований к главным приводам и системам их регулирования, так и общей научно-технической революцией в методах управления и средствах автоматизированного электропривода, начало которой совпало с широким применением МНЛЗ в чёрной металлургии.

1 НАЗНАЧЕНИЕ, ИСТОРИЯ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МНЛЗ

1.1 Назначение

Машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) - машина для разливки стали, обеспечивающая квазинепрерывный перевод жидкой стали, находящейся в сталеразливочном ковше, в твердое состояние в виде заготовок определенной геометрической формы. Процесс разливки металла на МНЛЗ обеспечивается без остановок благодаря поочередной подачи ковшей, подаваемых от сталеплавильных агрегатов, с жидким металлом на поворотный стэнд. Получаемая заготовка при этом разрезается на определённые длины в соответствии с требованиями потребителей и после чего, отправляется в определённые прокатные цеха [4].

Преимущества МНЛЗ:

Одним из основных преимуществ современных машин для непрерывной разливки стали является высокая степень автоматизации процесса разливки в целом, а также отдельных функциональных и технологических операций.

Способствует экономии финансовложений в связи:

Исключение затрат на парк изложниц, сооружение цеха подготовки составов, стрипперного отделения, обжимных станов.

Значительная экономия металла обеспечивается за счёт сокращения излишков заготовок после их деления

Экономия электроэнергии, за счёт исключения подогрева слитков в нагревательных колодцах

Снижение количества вредных выбросов.

Качество металлопродукции

Улучшение степени однородности металла, улучшение качества слитков за счёт ускоренного затвердевания [5].

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

1.2 История

Опираясь на опыт последних 50 – 55 лет, который прошла непрерывная разливка стали, следует отметить несколько революционных этапов. В 50-е до середины 60-ых годов был определён первый этап, в течение которого были осуществлены теоретическая проработка, и промышленное оформление способа непрерывной разливки стали. Это позволило создать объективные предпосылки для уверенного выхода на рынок новых технологий. В конструктивном плане (рис. 1) преобладали МНЛЗ вертикального типа (или с загибом заготовки после затвердевания).

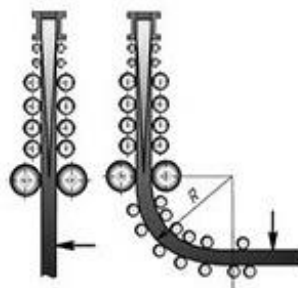


Рисунок 1.1 – Вертикальный тип

Также существуют радиальные (рис.2), криволинейные (рис.3) и горизонтальные МНЛЗ (рис.4). В это время непрерывная разливка стали обеспечила прямое (без обжимного передела) получение промышленной заготовки различных сечений (сляб, блюм, сортовая заготовка и т.п.).

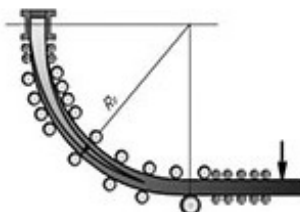


Рисунок 1.2 – Радиальный тип

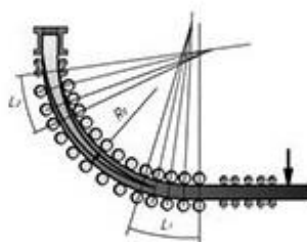


Рисунок 1.3 – Криволинейный тип



Рисунок 1.4 – Горизонтальный тип

В 60-х до начала 70-х годов был определён второй этап развития МНЛЗ. На данном этапе прослеживается, быстрое внедрение МНЛЗ на многие металлургические заводы промышленно развитых стран мира. В этот период производителям МНЛЗ пришлось конкурировать с привычным, но сравнительно дешевым, процессом разливки стали в слитки. Это потребовало создания новой системы технологий в сталеплавильном производстве. В итоге, основные показатели, достигаемые при непрерывной разливке стали, заметно превзошли лучшие показатели сталеплавильного производства. На этом этапе, в максимальной степени проявились преимущества непрерывной разливки – высокая экономическая эффективность, энерго- и ресурсосбережение, а также полная адаптация к конкретным сталеплавильным цехам.

В целом, к концу этого периода стало совершенно очевидным, что заготовка полученная путём непрерывного литья, не уступает по качеству заготовке, полученной прокаткой на обжимном стане. Выход годной заготовки составлял уже 94 - 97 % (против 78-82 % при разливке в слитки). В совокупности это позволило наиболее эффективно распределить потребляемую энергию и ресурсы в черной металлургии в целом. Исключая систему технологического процесса обжимных станов.

В 70-х до конца 80-х годов выделен третий этап, который был охарактеризован двумя основными тенденциями. Во-первых, в этот период окончательно сформировалась тенденция реконструкции сталеплавильных цехов с целью их оснащения МНЛЗ. Стратегия неуклонного повышения качества заготовки позволила значительно превысить традиционные показатели качества, достигаемые при разливке металла в слитки. Кроме того, в это же время происходит адаптация МНЛЗ к различным типам заготовки, используемых в прокатном производстве (сортовая заготовка и блюм, сляб, фасонная заготовка, круг и т.п.). Но стратегически наиболее высокое значение приобрела тенденция строительства новых сталеплавильных цехов и металлургических заводов со 100% использованием непрерывной разливки стали, в первую очередь, на слябы и блюмы. Благодаря развитию этой тенденции происходило совершенствование конструкции МНЛЗ, что, в итоге, обусловило создание промышленных образцов радиальных и криволинейных МНЛЗ [6].

1.3 Принцип действия МНЛЗ

Основной технологической функцией любой МНЛЗ является перевод стали из жидкого состояния в твердое. На выходе получаемая заготовка имеет определенную геометрическую форму, так же обеспечиваются её качественные показатели поверхности и внутренней структуры, определяемые соответствующими техническими требованиями.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

Процессу непрерывной разливки стали на МНЛЗ обязательно предшествует целый комплекс подготовительных и вспомогательных операций, основными из которых являются: футеровка промежуточного ковша, его сушка и подогрев до температуры 900-1100°С; установка промежуточного ковша в рабочее положение над кристаллизаторами; установка затравок и холодильников во внутренней полости кристаллизаторов; транспортировка сталеразливочного ковша от установки вне-печной обработки к МНЛЗ и установка его на поворотный стенд и пр. Еще раньше проверяется функциональная работоспособность всех узлов и механизмов, а также контрольно-измерительные приборы и автоматика.

Разливка стали начинается с открытия шиберного затвора сталеразливочного ковша. Подача металла из сталеразливочного в промежуточный ковш осуществляется открытой или закрытой струей через огнеупорную защитную трубу.

После заполнения промежуточного ковша металлом на 30-40% его номинальной емкости начинается подача стали в кристаллизаторы. Регулирование расхода стали, вытекающей из промежуточного ковша в кристаллизатор, может осуществляться посредством литья через калиброванные стаканы-дозаторы при поддержании заданной высоты налива металла в промежуточном ковше, изменением положения головки стопора относительно стакана-дозатора в промежуточном ковше.

При наполнении внутренней полости кристаллизатора металлом начинается процесс движения затравки вниз. При этом скорость вытяжки заготовки определяется толщиной и механической прочностью твердой корочки заготовки на выходе из кристаллизатора, которая необходима для предотвращения прорывов жидкого металла по ходу разливки.

В процессе разливки кристаллизатор совершает возвратно-поступательные движения с определенной частотой и амплитудой, что предотвращает прилипание твердой корочки заготовки к поверхности кристаллизатора.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Уровень металла в кристаллизаторе поддерживается постоянным, что обеспечивает повышение качества поверхности заготовки и стабилизирует процесс литья.

Разливка металла может одновременно осуществляться на 1-2 ручьях для слябовых МНЛЗ и на 1-8 ручьях для блюмовых и сортовых МНЛЗ. Выбор количества ручьев производится из соображений обеспечения требуемой производительности МНЛЗ и ритмичности функционирования сталеплавильных агрегатов применительно к конкретному сталеплавильному цеху.

Производительность МНЛЗ (т/мин) может быть определена по формуле:

$$\Pi = b \cdot s \cdot v_c \cdot \rho \cdot n, \quad (1)$$

где b и s – толщина и ширина заготовки, м;

v_c – скорость вытягивания слитка, м/мин;

ρ – плотность стали ($\approx 7,6$ т/м³);

n – количество ручьев, шт.

После выхода из кристаллизатора заготовка проходит через зону вторичного охлаждения (ЗВО), протяженность которой может составлять 8-35 м в зависимости от условий разливки (сечение заготовки, марка стали, скорость разливки и пр.). Охлаждение заготовки осуществляется в основном водой или водо-воздушной смесью, распыляемой специальными форсунками, которые установлены по ходу движения заготовки. Заготовка движется по поддерживающим роликам, установленным вдоль технологической оси.

При этом протяженность участка, на котором заготовка полностью затвердевает, приближенно определяется по эмпирической формуле (м):

$$L_s = \frac{0,25 \cdot b^2 \cdot v_c}{K^2}, \quad (2)$$

где K – коэффициент затвердевания, равный для сляба 0,025-0,027 м/мин^{0,5}, блюма 0,028-0,030 м/мин^{0,5}, а для сортовой заготовки 0,031-0,033 м/мин^{0,5}.

После выхода из ЗВО заготовка проходит тянущее – правильную машину (ТПМ), затем производится отделение затравки, и заготовка подается на машину газо-кислородной резки, где она делится на мерные длины и затем маркируется.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Отрезанная мерная заготовка (как правило, 6-12 м) подаётся к устройству поперечной транспортировки заготовок, где передается в холодильную зону.

Разливка стали осуществляется сериями из нескольких сталеразливочных ковшей (10-25 ковшей и более). При этом замена пустого сталеразливочного ковша на полный осуществляется путем изменения позиции поворотного стенда. Эта операция называется перековшовкой. Время замены сталеразливочного ковша составляет, как правило, 90-120 с. В это время разливка продолжается в обычном режиме (или с уменьшением скорости движения заготовки) за счет металла, находящегося в промежуточном ковше.

Регулирование скорости разливки (вытяжки заготовки) осуществляется двумя способами: путем регламентирования расхода металла, вытекающего из промежуточного ковша и изменения скорости вытяжки заготовки.

Завершение процесса разливки осуществляется прекращением подачи металла из сталеразливочного, а затем и из промежуточного ковша. При этом в промежуточном ковше остается определенный остаток жидкого металла (высота слоя составляет 200-300 мм), который препятствует попаданию шлака из промежуточного ковша в кристаллизатор. После прекращения подачи металла из промежуточного ковша движение заготовки приостанавливается, что позволяет «застудить» верхнюю часть заготовки с целью предотвращения выливания металла через край. С этой целью с зеркала металла в кристаллизаторе удаляется шлак и на него подается вода. Далее заготовка продолжает свое движение и полностью выводится из МНЛЗ.

К основным функциональным элементам МНЛЗ можно отнести:

Сталеразливочный стенд – предназначен для размещения на нем сталеразливочных ковшей, перемещает 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;

Тележка промежуточного ковша – служит для удержания его при разливке и перемещения из резервной позиции в рабочую;

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;

Механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора – создает условия, снижающие вероятность возникновения прорывов корки слитка на выходе из него, а также обеспечивает полное «залечивание» места разрыва, возникшего при движении слитка в кристаллизаторе;

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;

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 газо-кислородной для резки заготовок – обеспечивает разделение непрерывнолитого металла на мерные длины в соответствии с требованиями потребителей;

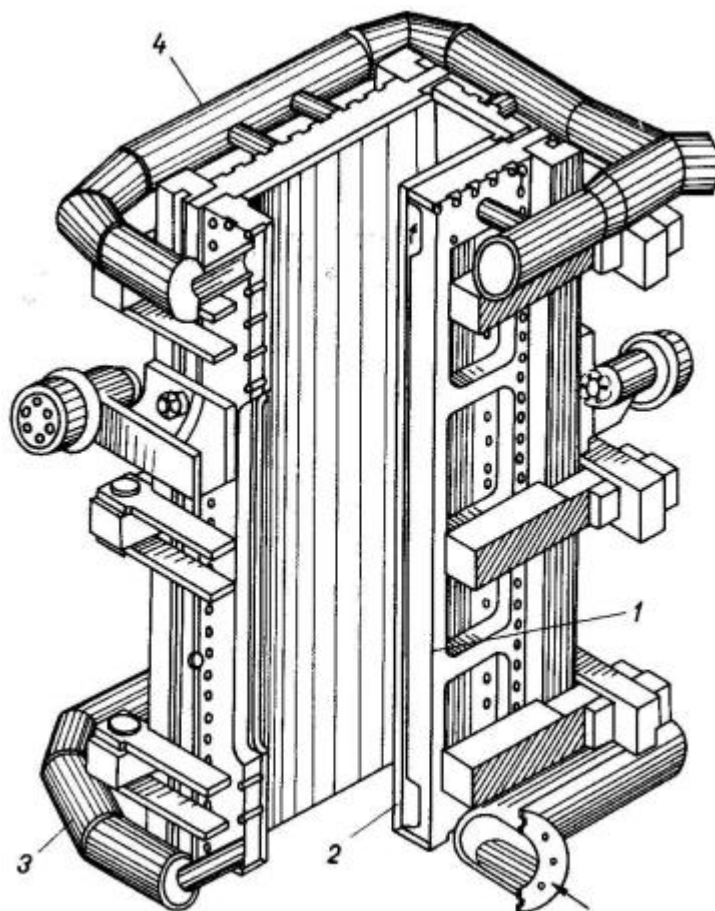
Затравка – предназначена для образования временного «дна» в кристаллизаторе перед началом разливки и последующего вытягивания со сцепленной заготовкой ТПМ;

Устройство для электромагнитного перемешивания – позволяет повысить качество заготовки [7].

Наибольшее внимание хотелось бы уделить такой важной части МНЛЗ как кристаллизатор.

Кристаллизатор - медный водоохлаждаемый сосуд определенной геометрической формы без дна, предназначенный для приема жидкого металла, попадающего в него из промежуточного ковша, а также перевода части жидкой стали в твердое состояние посредством интенсивного отвода тепла охлаждающей водой.

В конструктивном плане кристаллизатор (рисунок 1.5) представляет собой сложную сборочную единицу, в состав которой входит внутренняя медная рубашка, непосредственно контактирующая с расплавленным металлом, и жесткий стальной корпус, выполняющий функцию фиксирования и поддержания медной рубашки.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

18

Рисунок 1.5 – Общая схема кристаллизатора МНЛЗ: 1 – стальной кожух; 2 – внутренняя медная стенка; 3 – подводящий воду патрубок; 4 – отводящий воду патрубок

Между медными стенками кристаллизатора и стальным корпусом предусматривается зазор, через который с определенным расходом пропускается охлаждающая вода.

Обычная технологическая длина кристаллизатора еще до недавнего времени составляла 700-800 мм при минимальных размерах от 500 мм до максимальных 1200 мм. Современная концепция кристаллизаторов предполагает длину порядка 900-1000 мм, что увеличивает толщину твердой корочки заготовки на выходе из кристаллизатора при литье на более высоких скоростях.

Рабочая часть кристаллизаторов изготавливается либо из рафинированной меди, либо из сплава меди с серебром или сплавов меди с хромом и цирконием. Для повышения эксплуатационной стойкости на внутреннюю поверхность кристаллизатора наносятся специальные защитные покрытия на основе хрома или никеля.

В конструкционном плане медная часть кристаллизаторов выполняется либо в виде гильзы, либо сборной [8].

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

2 ЭЛЕКТРОПРИВОД КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Наибольшее распространение получил эксцентриковый привод качания кристаллизатора, где скорость перемещения изменяется по гармоническому закону.

Для качания криволинейного кристаллизатора обычно используют эксцентриковый механизм, который приближенно воспроизводит круговую траекторию на участке движения с радиусом кривизны. На современных МНЛЗ чаще применяют безредукторный электропривод. Благодаря уменьшению люфтов в кинематической цепи снижаются ударные моменты в механизме при знакопеременной нагрузке. Недостатками такого привода являются большие размеры и масса тихоходного двигателя и увеличение колебаний его частоты вращения.

Обычно применение находят тихоходные двигатели постоянного тока серий ПС, ДС и МПС в продуваемом исполнении, мощностью от 45 до 132 кВт с номинальной частотой вращения от 50 до 160 оборотов в минуту.

Рама, на которой установлен кристаллизатор, перемещается вверх и вниз под действием эксцентриков, расположенных во вкладышах и связанных с выходным валом редуктора. Иногда используют маховик, служащий для уменьшения пиковых значений момента нагрузки на валу двигателя, уменьшения пульсаций скорости и экономии электроэнергии. Особенно эффективен маховик на безредукторных приводах кристаллизаторов.

Установленные мощности двигателей редукторных приводов качания кристаллизатора составляют 32-46 кВт для слябовых МНЛЗ и 5-10 кВт для сортовых машин. Применяют, как правило, двигатели постоянного тока серии Д [9].

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ					

2.1 Кинематическая схема

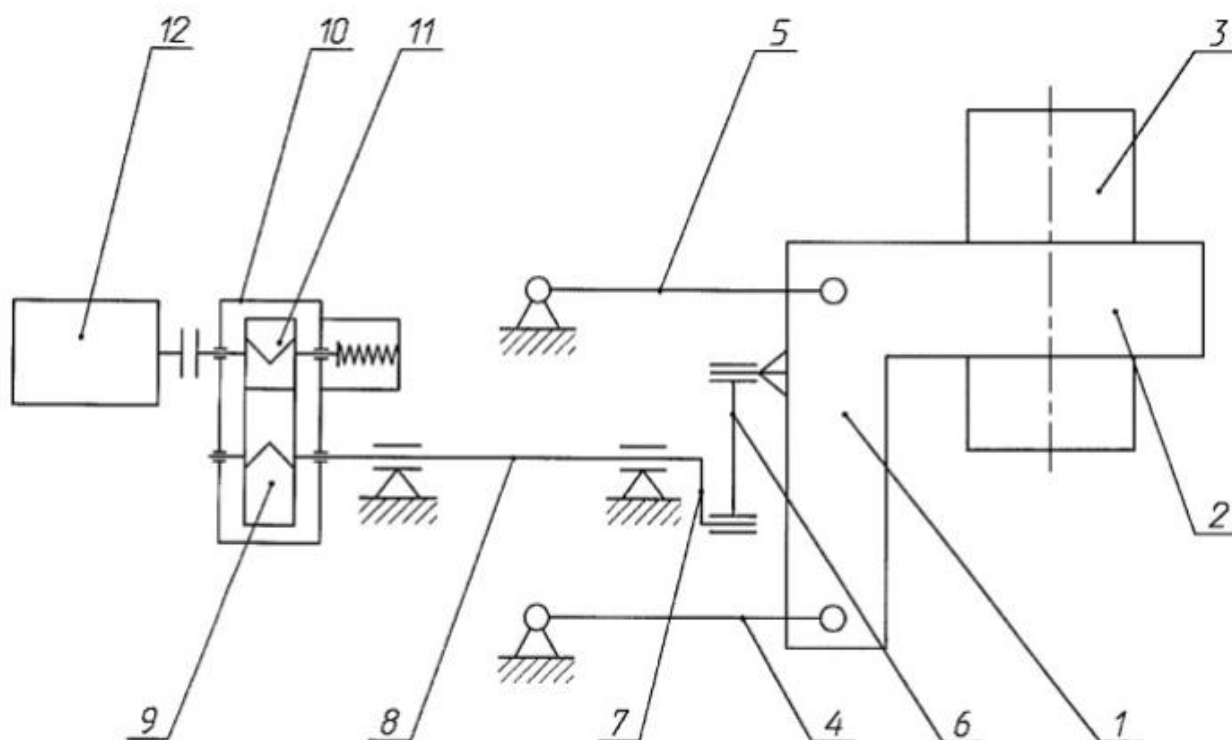


Рисунок 2.1 – Кинематическая схема кристаллизатора

«Предлагаемая конструкция механизма качания кристаллизатора МНЛЗ содержит станину 1, стол 2, на который устанавливается кристаллизатор 3, шарнирные рычаги 4 и 5, связывающие с неподвижной опорой стол 2 и станину 1, шатун 6, эксцентрик 7, посаженный на вал 8, шевронные зубчатое колесо 9 и вал-шестерня 10 редуктора 11, а также электродвигатель 12, при этом хвостовик эксцентрикового вала 8 установлен в станине 1 на подшипниках 13 с возможностью свободного перемещения в осевом направлении и фиксируется с некоторым зазором зубьями шевронного колеса 9.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

21

Для выборки осевого зазора в зацеплении устройство содержит пружину 14, воздействующую на вал-шестерню 10 в осевом направлении через упорный подшипник 15, при этом в косозубом зубчатом зацеплении при передаче крутящего момента создаются окружное и осевое усилия, а усилие предварительной затяжки пружины 14 выбрано таким образом, что его величина на 20...30% превышает осевую составляющую окружного усилия в зубчатом зацеплении, создаваемую приводом.

Обеспечивается улучшение качества поверхности слитка и снижение количества прорывов за счет исключения искажения кинематического закона качания кристаллизатора и стабилизации процесса непрерывного литья.

Предлагаемый механизм качания кристаллизатора МНЛЗ работает следующим образом.

С началом вытягивания слитка из кристаллизатора 3 включают электродвигатель 12 привода механизма качания кристаллизатора. При этом в зацеплении редуктора 11 создаются окружное и осевое усилия. Пружина 14 через упорный подшипник 15 создает осевое усилие на вал-шестерню 10, в результате чего выбираются зазоры в зацеплении. Эксцентриковый вал 8 обеспечивает возвратно-поступательное движение стола 2 с кристаллизатором 3 по траектории, задаваемой рычагами 4 и 5» [10].

На основании описания технологического процесса можно сделать вывод, что электроприводы, применяемые для МНЛЗ должны обладать как высокими энергетическими характеристиками, так и высокими прикладными возможностями.

Стоит оценить насколько современные электроприводы переменного тока позволяют заменить применяющиеся электроприводы постоянного тока, характерные для регулируемых электроприводов металлургической промышленности.

2.2 Предварительный выбор электродвигателя

Таблица 2.1 – Исходные данные

Наименование показателя	Обозначение	Размерность	Величина
Длина МНЛЗ	L	м	20
Скорость вытягивания слитка	V _{вс}	м/с	0,015
Частота качаний кристаллизатора	fk	об/с	6,6
Амплитуда качания кристаллизатора	e	м	0,012
Масса кристаллизатора	mk	т	20
Периметр кристаллизатора	P	м	3
Активная высота кристаллизатора	Ha	м	0,8

Произведём расчёт угловой скорости эксцентрика

$$\omega e = 2 \cdot \pi \cdot fk; \quad (3)$$

$$\omega e = 2 \cdot 3,14 \cdot 6,6 = 41,46 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Найдём продолжительность цикла

$$t_c = \frac{1}{fk}; \quad (4)$$

$$t_c = \frac{1}{400} = 0,152 \text{ с}.$$

Экстремум разности скоростей кристаллизатора и слитка

$$\Delta V_{max} = e \cdot \omega e - V_{вс}; \quad (5)$$

$$\Delta V_{max} = 0,012 \cdot 41,46 - 0,9 = 0,483.$$

Рассчитаем интервал опережения

$$\alpha_1 = \pi + \arcsin \left(\frac{V_{вс}}{e \cdot \omega e} \right); \quad (6)$$

$$\alpha_1 = 3,14 + \arcsin \left(\frac{0,015}{0,012 \cdot 41,47} \right) = 181,7^\circ;$$

$$\alpha_2 = 2\pi - \arcsin \left(\frac{V_{вс}}{e \cdot \omega e} \right); \quad (7)$$

$$\alpha_2 = 2 \cdot 3,14 - \arcsin\left(\frac{0,015}{0,012 \cdot 41,47}\right) = 358,3^\circ.$$

Определим путь эксцентрика на интервале опережения

$$\gamma = \alpha_2 - \alpha_1; \quad (8)$$

$$\gamma = 6,25 - 3,15 = 3,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Теперь найдём путь кристаллизатора в режиме опережения

$$S = e \left[1 - \cos \omega e \left(\frac{30}{fk} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \left(\frac{V_{BC}}{e \cdot \omega e} \right) \right] \right) \right] -$$

$$- \frac{30 \cdot V_{BC}}{fk} \left[1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \left(\frac{V_{BC}}{e \cdot \omega e} \right) \right]; \quad (9)$$

$$S = 0,012 \left[1 - \cos[41,47] \left(\frac{30}{6,6} \left[1 - \frac{2}{3,14} \arcsin \left(\frac{0,015}{0,012 \cdot 41,47} \right) \right] \right) \right] -$$

$$- \frac{30 \cdot 0,9}{6,6} \left[1 - \frac{2}{3,14} \arcsin \left(\frac{0,015}{0,012 \cdot 41,47} \right) \right] = 0,022 \text{ м.}$$

Произведём расчёт угловой координаты эксцентрика

$$J = mk \cdot e^2 \cdot \sin^2(\omega e \cdot t_c); \quad (10)$$

$$J = 20000 \cdot 0,012^2 \cdot \sin^2(41,47 \cdot 0,152) = 0,034 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Определим силу трения слитка

$$F = 0,5 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \mu \cdot \gamma \cdot P \cdot H a^2, \quad (11)$$

где k_1 - коэффициент, учитывающий степень «приработки» кристаллизатора;

k_2 – коэффициент, учитывающий марку стали;

$\mu=0,47 \div 0,55$ – коэффициент трения кристаллизирующегося слитка о стенки кристаллизатора;

$\gamma=70 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес жидкой стали;

P – периметр кристаллизатора, м;

$H a$ – активная высота кристаллизатора (расстояние от поверхности жидкой стали до нижнего торца кристаллизатора), м.

$$F = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 1,75 \cdot 0,5 \cdot 70000 \cdot 3 \cdot 0,8^2 = 88200 \text{ Н.}$$

Экспериментальным путём было определено, что для нового кристаллизатора $k_1=1,5 \div 2,0$. После разлива 15-20 плавов кристаллизатор «прирабатывается», и сила трения уменьшается в 1,5-2 раза. Коэффициент k_2 для малоуглеродистой стали составляет 0,65, для углеродистой стали принимают $k_2=1,75$.

Расчёт моментов.

При подъёме кристаллизатора:

$$M_{c1} = M_{п1} + M_{в1} \cdot \sin(\omega t), \quad (12)$$

где $M_{п1}$ – постоянная составляющая момента сопротивления, Н·м;

$M_{в1}$ – амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления при подъёме кристаллизатора, Н·м.

$$M_{п1} = M_{трэ1} + M_{трвк1} + M_{трп}, \quad (13)$$

где $M_{трэ1}$ – момент трения эксцентрика о вкладыш;

$M_{трвк1}$ – момент трения вкладыша о плиту;

$M_{трп}$ – момент трения в подшипниках.

$$M_{трэ1} = \frac{(mk + F) \cdot l_1 \cdot \mu \cdot de}{2 \cdot (l_1 + l_2)}, \quad (14)$$

где mk – вес кристаллизатора с обвязкой, Н;

F – сила трения слитка в кристаллизаторе, Н;

$l_1 = 0,64$ – расстояние от оси кристаллизатора до оси вращения рамы, м;

$l_2 = 1,4$ – расстояние от оси вращения рамы до оси вращения эксцентрика, м;

de – диаметр эксцентрика, ($d_{э}=0,2$ м);

μ – коэффициент трения стали по бронзе ($\mu=0,05$).

$$M_{трэ1} = \frac{(20000 + 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,05 \cdot 0,2}{2 \cdot (0,644 + 1,4)} = 170,45 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{трвк1} = \frac{9,55 \cdot (mk + F) \cdot l_1 \cdot \mu \cdot V_{\text{сред}}}{(l_1 + l_2) \cdot \omega e}, \quad (15)$$

где $V_{\text{сред}}$ – средняя скорость горизонтального перемещения вкладыша.

Средняя скорость горизонтального перемещения вкладыша

$$V_{\text{сред}} = \frac{4 \cdot e}{t_c}; \quad (16)$$

$$V_{\text{сред}} = \frac{4 * 0,012}{0,152} = 0,317 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$M_{\text{трвк1}} = \frac{9,55 \cdot (20000 + 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,05 \cdot 0,317}{(0,64 + 1,4) \cdot 41,47} = 124,36 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{трп}} = (mk + F) \cdot \mu_{\text{п}} \cdot d_{\text{срп}}, \quad (17)$$

где $\mu_{\text{п}}$ – коэффициент трения в подшипниках;

$d_{\text{срп}}$ – средний диаметр подшипников. м.

$$M_{\text{трп}} = (20000 + 88200) \cdot 0,02 \cdot 0,1025 = 221,81 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Подставляем результаты вычислений выражений 14, 15, 17 в выражение 12. и получаем результат вычислений для постоянной составляющей момента сопротивления

$$M_{\text{п1}} = 170,45 + 124,36 + 221,81 = 516,61 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления в момент поднятия кристаллизатора описывается выражением:

$$M_{\text{в1}} = \frac{(Mk + F) \cdot l_1 \cdot e}{(l_1 + l_2)}, \quad (18)$$

где Mk – вес кристаллизатора. Н

$$M_{\text{в1}} = \frac{(196132 + 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,012}{(0,64 + 1,4)} = 1075 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления в случае опускания кристаллизатора определяется выражением:

$$M_{\text{с2}} = M_{\text{п2}} - M_{\text{в2}} \cdot \sin(\omega t), \quad (19)$$

где $M_{\text{п2}} = M_{\text{п1}}$ – постоянная составляющая момента сопротивления Н · м.

$M_{\text{в2}}$ – амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления в случае опускания кристаллизатора.

$$M_{\text{в2}} = \frac{(Mk - F) \cdot l_1 \cdot e}{(l_1 + l_2)}; \quad (20)$$

$$M_{\text{в2}} = \frac{(196132 - 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,012}{(0,64 + 1,4)} = 408,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Предварительная проверка двигателя по нагреву производится методом эквивалентного момента (по эквивалентному среднеквадратичному моменту в разомкнутой системе)

$$M_{\text{экв}} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{M_{\text{п1}}^2 + M_{\text{п2}}^2}{2}\right) + \left(\frac{M_{\text{в1}}^2 + M_{\text{в2}}^2}{4}\right) + \left(\frac{2}{\pi}\right) (M_{\text{п1}} \cdot M_{\text{в1}} + M_{\text{п2}} \cdot M_{\text{в2}})}; \quad (21)$$

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\left(\frac{516,61^2 + 516,61^2}{2}\right) + \left(\frac{1075^2 + 408,1^2}{4}\right) + \left(\frac{2}{3,14}\right) (516,61 \cdot 1075 + 516,61 \cdot 408,1)} = 1041,73 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

После определения момента найдём необходимую мощность двигателя.

$$P_{\text{двиг.п}} = M_{\text{экв}} \cdot \omega_e; \quad (22)$$

$$P_{\text{двиг.п}} = 1041,73 \cdot 41,47 = 43199,6 \text{ Вт}.$$

По [20] выберем двигатель серии ЛАК.

Таблица 2.2 – Характеристики двигателя ЛАК 4160 ВВ 501 – ЕВ

Параметр двигателя	Значение
Рн, кВт	55,8
n, об/мин	2050
Iя, А	154
Mн, Н·м	261
Uя, В	380
Rя, Ом	0,18
Lя, мГн	2,9
Jя, Кг·м ²	0,25
КПД, %	89,4
Iв, А	6,8

Выбираем редуктор с передаточным числом 14 тип КЦ1 – 200

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

27

Таблица 2.3 Технические характеристики редуктора

Параметр	Значение
Номинальный крутящий момент на выходном валу $T_{ном}$, Нм	800
Номинальная радиальная консольная нагрузка, приложенная в середине посадочной части вала, входная Н	900
Номинальная радиальная консольная нагрузка, приложенная в середине посадочной части вала, выходная Н	5600
КПД, %	96
Масса, кг	185

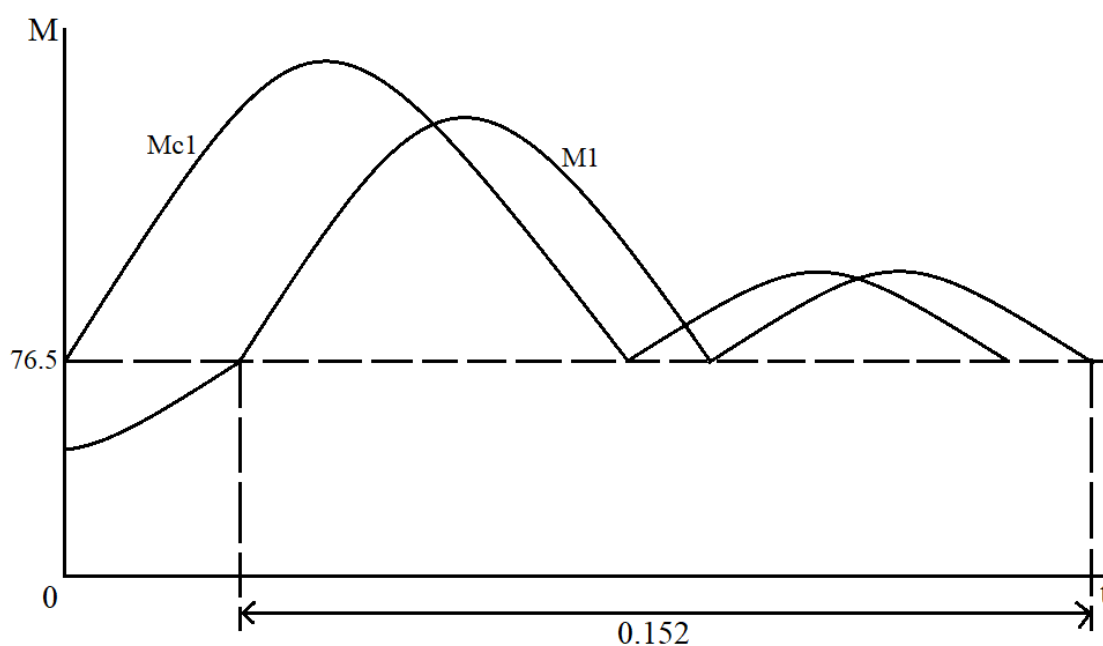


Рисунок 2.2 – Нагрузочная диаграмма

2.3 Проверочный расчет с учетом параметров электродвигателя и редуктора

Учитывая характер нагрузки механизма качания кристаллизатора, маховые массы электродвигателя и редуктора могут существенно изменить полученные соотношения для предварительного выбора.

Угловая координата эксцентрика

$$J_{\Pi} = \frac{mk \cdot e^2 \cdot \sin^2(\omega e \cdot t_c)}{i} \quad (23)$$

$$J_{\Pi} = \frac{20000 \cdot 0,012^2 \cdot \sin^2(41,47 \cdot 0,152)}{14} = 0,002 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Произведём расчёт моментов с учётом выбранного двигателя и редуктора.

Постоянная составляющая момента.

$$M_{\Pi 1} = M_{\text{тр} \varepsilon 1} + M_{\text{тр} \text{вк} 1} + M_{\text{тр} \text{п}} + M_{\text{тр. ред}}, \quad (24)$$

где $M_{\text{тр} \text{ред}}$ – момент трения редуктора.

$$M_{\text{тр} \varepsilon 1. \text{п}} = \frac{(mk + F) \cdot l_1 \cdot \mu \cdot de}{2 \cdot (l_1 + l_2) \cdot i}, \quad (25)$$

где i – передаточное число редуктора.

$$M_{\text{тр} \varepsilon 1} = \frac{(20000 + 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,05 \cdot 0,2}{2 \cdot (0,644 + 1,4) \cdot 14} = 12,175 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{тр} \text{вк} 1} = \frac{9,55 \cdot (mk + F) \cdot l_1 \cdot \mu \cdot V_{\text{сред}}}{(l_1 + l_2) \cdot n_{\text{двиг}}}, \quad (26)$$

где $n_{\text{двиг}}$ – номинальная скорость двигателя.

$$M_{\text{тр} \text{вк} 1. \text{п}} = \frac{9,55 \cdot (20000 + 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,05 \cdot 0,317}{(0,64 + 1,4) \cdot 2050} = 2,51 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{тр} \text{п}} = \frac{(mk + F) \cdot \mu_{\text{п}} \cdot d_{\text{срп}}}{i}. \quad (27)$$

$$M_{\text{тр} \text{п. п}} = \frac{(20000 + 88200) \cdot 0,02 \cdot 0,1025}{14} = 15,84 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент трения редуктора был взят в паспортных данных редуктора.

Подставляем результаты вычислений выражений 25, 26, 27 в выражение 24. и получаем результат вычислений для постоянной составляющей момента сопротивления

$$M_{\Pi 1. \text{п}} = 12,175 + 2,51 + 15,84 + 46 = 76,53 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления в момент поднятия кристаллизатора описывается выражением

$$M_{\text{в} 1. \text{п}} = \frac{(Mk + F) \cdot l_1 \cdot e}{(l_1 + l_2) \cdot i}. \quad (28)$$

$$M_{в1.п} = \frac{(196132 + 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,012}{(0,64 + 1,4) \cdot 14} = 76,78 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления в случае опускания кристаллизатора определяется выражением

$$M_{с2.п} = M_{п2.п} - M_{в2.п} \cdot \sin(wet), \quad (29)$$

где $M_{п2} = M_{п1}$ – постоянная составляющая момента сопротивления Н · м.

$M_{в2}$ – амплитуда гармонической составляющей момента сопротивления в случае опускания кристаллизатора.

$$M_{в2п} = \frac{(Mk - F) \cdot l1 \cdot e}{(l1 + l2) \cdot i}; \quad (30)$$

$$M_{в2} = \frac{(196132 - 88200) \cdot 0,64 \cdot 0,012}{(0,64 + 1,4) \cdot 14} = 29,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент двигателя в разомкнутой системе электропривода, то есть в системе без автоматического регулирования, в период полу поднятия кристаллизатора выражается следующей формулой:

$$M_1 = M_{п} + M_{а1} \sin(wet - \varphi), \quad (31)$$

где φ – угол отставания, связанный с инерционными свойствами жидкого металла;

$M_{а1}$ – амплитуда гармонической составляющей момента двигателя в разомкнутой системе, Н·м.

$$M_{а1} = M_{в1.п} \cdot \sqrt{1 + (T_M we)^2}, \quad (32)$$

где T_M – электромеханическая постоянная времени электропривода, с.

$$T_M = \frac{J\varepsilon \cdot w_{двиг}}{M_{к.з}}, \quad (33)$$

где $J\varepsilon$ – приведённый к валу двигателя суммарный момент инерции, кг·м²;

$w_{двиг}$ – угловая скорость идеального холостого хода двигателя, рад/с;

$M_{к.з}$ - момент короткого замыкания двигателя, Н · м.

$$T_M = \frac{0,025 \cdot 214,63}{745} = 0,094 \text{ с}.$$

Подставляем полученные значения в (32).

$$M_{а1} = 76,78 \cdot \sqrt{1 + (0,094 \cdot 41,47)^2} = 307,88 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Аналогично получаем момент двигателя в разомкнутой системе для случая опускания кристаллизатора.

$$M_1 = M_{\Pi} - Ma_2 \sin(\omega t - \varphi), \quad (34)$$

где Ma_2 – амплитуда гармонической составляющей момента двигателя в разомкнутой системе в случае опускания кристаллизатора, Н·м.

$$Ma_2 = M_{B2.п} \cdot \sqrt{1 + (T_M \omega)^2}; \quad (35)$$

$$Ma_2 = 29,15 \cdot \sqrt{1 + (0,094 \cdot 41,47)^2} = 116,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка двигателя по нагреву производится методом эквивалентного момента (по эквивалентному среднеквадратичному моменту в разомкнутой системе)

$$M_{\text{Экв}} = \sqrt{M_{\Pi}^2 + \frac{Ma_1^2 + Ma_2^2}{4} + \frac{2 \cdot M_{\Pi}}{\pi} (Ma_1 + Ma_2)}; \quad (36)$$

$$\begin{aligned} M_{\text{Экв}} &= \sqrt{76,54^2 + \frac{307,88^2 + 116,87^2}{4} + \frac{2 \cdot 76,54}{3,14} (307,88 + 116,87)} = \\ &= 231,65 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Исходя из полученных результатов двигатель проходит проверку $M_{\text{Экв}} < M_{\text{двиг}}$.

3 ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Выбор тиристорного преобразователя

Произведём выбор тиристорного преобразователя по номинальным значениям напряжения на якоре и тока якоря выбранного электродвигателя, при этом:

$$U_{ТПН} \geq U_{ДН}$$

$$I_{ТПН} \geq I_{ДН}$$

Так же стоит обратить внимание на ток возбуждения двигателя и ток тиристорного возбудителя.

Выберем по (20) тиристорный преобразователь серии MentorMP.

Таблица 3.1 – Технические характеристики преобразователя MentorMP MP210A4R

Марка	Ud, В	Id, А	Uвх, В	Габарит	Iв, А
MP210A4R	450	210	480	1В	8

3.2 Выбор трансформатора.

$$U_{2min} = U_{ЯН} \cdot \frac{K_R}{K_U \cdot (1 - \Delta U_C)}, \quad (38)$$

где K_R – коэффициент, учитывающий падение напряжения на обмотках трансформатора (можно принять 1,05);

$\Delta U_C = 0,2$ – колебания напряжения сети;

$U_{ЯН}$ – номинальное напряжение якорной цепи;

K_U – коэффициент выпрямления схемы (для трехфазной мостовой 2,34).

$$U_{2min} = 380 \cdot \frac{1,05}{2,34 \cdot (1 - 0,2)} = 213,14 \text{ В.}$$

Данный расчет не учитывает нагрузку трансформатора, поэтому необходимо выбирать трансформатор с запасом по напряжению, исходя из этого можно сформировать условия выбора силового трансформатора:

$$S_{ТР} > P_{ТП}; U_2 > U_{2min} \quad (39)$$

По (20) выбираем трансформатор ТСЗП-125/0,7 - УХЛ4.

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ				

Таблица 3.2 – Параметры трансформатора

Параметр	Значение
Напряжение на первичной стороне обмотки U_1 , В	660
Мощность трансформатора P , кВА	117
Напряжение на вторичной стороне обмотки U_2 , В	410
Ток на вторичной стороне обмотки I_2 , А	164
Потери в опыте холостого хода $\Delta P_{хх}$, Вт	520
Потери в опыте короткого замыкания $\Delta P_{кз}$, Вт	2700
Напряжение короткого замыкания U_K , %	5,8
Ток холостого хода I_X , %	4

Для учёта влияния параметров обмоток трансформатора на основные элементы силовой цепи производится расчёт активного, индуктивного и полного сопротивления трансформатора. Также учитывается эквивалентное сопротивление, учитывающее снижение выпрямленного напряжения, вызванное коммутацией между вентилями.

$$z_{TP} = \frac{U_{2H} \cdot U_K^{\%}}{I_{2H} \cdot 100}, \quad (40)$$

где U_{2H} – напряжение на вторичной стороне обмотки;

I_{2H} – ток на вторичной стороне обмотки;

$U_K^{\%}$ – напряжение короткого замыкания.

$$z_{TP} = \frac{410 \cdot 5,8}{164 \cdot 100} = 0,145 \text{ Ом};$$

$$r_{TP} = \frac{P_{K3}}{3I_{2H}^2}, \quad (41)$$

где P_{K3} – потери в опыте короткого замыкания.

$$r_{\text{ТР}} = \frac{2700}{3 \cdot 164^2} = 0,033 \text{ Ом};$$

$$x_{\text{ТР}} = \sqrt{z_{\text{ТР}}^2 - r_{\text{ТР}}^2}; \quad (42)$$

$$x_{\text{ТР}} = \sqrt{0,145^2 - (0,033)^2} = 0,141 \text{ Ом};$$

$$L_{\text{ТР}} = \frac{x_{\text{ТР}}}{2\pi f_{1\text{H}}}, \quad (43)$$

где $f_{1\text{H}}$ – частота сети.

$$L_{\text{ТР}} = \frac{0,141}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Гн};$$

$$r_{\text{Э}} = \frac{x_{\text{ТР}} \cdot m}{2\pi}, \quad (44)$$

где $m=6$ – пульсность схемы.

$$r_{\text{Э}} = \frac{0,141 \cdot 6}{2 \cdot 3,14} = 0,135 \text{ Ом}.$$

Имея параметры силового трансформатора, необходимо произвести расчёт запаса по напряжению, обеспечиваемый трансформатором совместно с тиристорным преобразователем. Проверка необходима для того, чтобы проверить насколько выбранное силовое оборудование способно обеспечить требования. Проверяем по (45)

$$E_{d0} > E_{\text{Д}} + \Delta U_1 + I_{\text{М}} \cdot R_{\text{ЯЦ}}, \quad (45)$$

где E_{d0} – ЭДС идеального холостого хода преобразователя;

$E_{\text{Д}}$ – ЭДС двигателя при максимальной скорости;

ΔU_1 – снижение напряжения преобразователя, вызванное колебаниями напряжения сети;

$I_{\text{М}}$ – максимальный рабочий ток нагрузки;

$R_{\text{ЯЦ}}$ – суммарное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель.

Просадка напряжения, вызванная колебаниями сети:

$$\Delta U_1 = E_{d0} \cdot \Delta U_{\text{с}}. \quad (46)$$

Сопротивление якорной цепи:

$$R_{\text{ЯЦ}} = R_{\text{ТР}} + R_{\text{Я}} + R_{\text{Э}}, \quad (47)$$

где $R_{\text{я}}$ – активное сопротивление обмотки якоря и обмотки добавочных полюсов;
 $R_{\text{ТР}}$ – эквивалентное активное сопротивление обмоток трансформатора, приведенное ко вторичной цепи;

$R_{\text{э}}$ – эквивалентное сопротивление, учитывающее снижение выпрямленного напряжения, вызванное коммутацией тока между вентилями.

Для трехфазной мостовой схемы дополнительное сопротивление от обмоток трансформатора составляет:

$$R_{\text{ТР}} = 2r_{\text{ТР}}; \quad (48)$$

$$R_{\text{ТР}} = 2 \cdot 0,033 = 0,067 \text{ Ом.}$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_{\text{э}} = r_{\text{э}}; \quad (49)$$

$$R_{\text{э}} = 0,135 \text{ Ом.}$$

Подставим полученные результаты в (47)

$$R_{\text{яц}} = 0,067 + 0,18 + 0,135 = 0,382 \text{ Ом.}$$

ЭДС двигателя при максимальной скорости вращения:

$$E_{\text{до}} = k\Phi_{\text{Н}} \cdot \omega_{\text{ОН}}, \quad (50)$$

где $k\Phi_{\text{Н}} = 1,64$ – коэффициент двигателя;

$\omega_{\text{ОН}} = 214,6$ – номинальная скорость двигателя, р/сек.

$$E_{\text{до}} = 1,64 \cdot 214,6 = 352,28 \text{ В.}$$

Максимальный ток нагрузки:

$$I_{\text{М}} = \frac{M_{\text{С}}}{M_{\text{Н}}} \cdot I_{\text{ян}}, \quad (51)$$

где $\frac{M_{\text{С}}}{M_{\text{Н}}}$ – изменение момента статической нагрузки в долях от номинального;

$I_{\text{ян}}$ – номинальный ток якоря двигателя.

$$I_{\text{М}} = \frac{384,414}{261} \cdot 154 = 226,82 \text{ А.}$$

ЭДС идеального холостого хода преобразователя:

$$E_{\text{до}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{2\text{Л}} \cdot \sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}}; \quad (52)$$

$$E_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot 410 \cdot \sin \frac{3,14}{6}}{\frac{3,14}{6}} = 553,69 \text{ В.}$$

Зная E_{d0} рассчитаем (46)

$$\Delta U_1 = 553,69 \cdot 0,2 = 110,74 \text{ В;}$$

$$E_{\text{зап}} = E_{\text{д}} + \Delta U_1 + I_{\text{М}} \cdot R_{\text{яц}}; \quad (53)$$

$$E_{\text{зап}} = 352,28 + 110,74 + 226,82 \cdot 0,382 = 549,58 \text{ В.}$$

Произведём проверку по выражению (45)

$$553,69 > 549,58$$

Исходя из данного условия можно сделать вывод что трансформатор прошел проверку по запасу напряжения.

4. Расчёт статических характеристик электропривода.

4.1 Расчёт механической характеристики в разомкнутой системе

Механические характеристики двигателя независимого возбуждения прямолинейны и математически выражаются формулой:

$$\omega_{0н} = \frac{U}{k\Phi} - M \frac{R}{(k\Phi)^2}. \quad (54)$$

Для естественной механической характеристики напряжение равно номинальному $U=U_n$, поток равен номинальному $\Phi=\Phi_n$, сопротивление якорной цепи равно внутреннему:

$$R = r_{оя} + r_{дп} + r_{ко} = r_я.$$

Тогда с учётом сказанного, уравнение для естественной механической характеристики принимает вид:

$$\omega = \frac{U_n}{k\Phi_n} - M \frac{R_я}{(k\Phi_n)^2}. \quad (55)$$

Произведение $k\Phi_n$ можно определить через каталожные данные двигателя:

$$k\Phi_n = \frac{U_n - I_n \cdot r_я}{\omega_n}; \quad (56)$$

$$k\Phi_n = \frac{380 - 154 \cdot 0,18}{214,63} = 1,64.$$

Найдём скорость идеального холостого хода:

$$\omega = \frac{U_n}{k\Phi_n}; \quad (57)$$

$$\omega_{0н} = \frac{380}{1,64} = 231,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Электромагнитный момент, который двигатель развивает при ω_n :

$$M_n = k\Phi_n \cdot I_n; \quad (58)$$

$$M_n = 1,64 \cdot 154 = 252,76 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Естественная механическая характеристика строится по двум точкам: (ω_n, I_n) и $(\omega_{0н}, I=0)$.

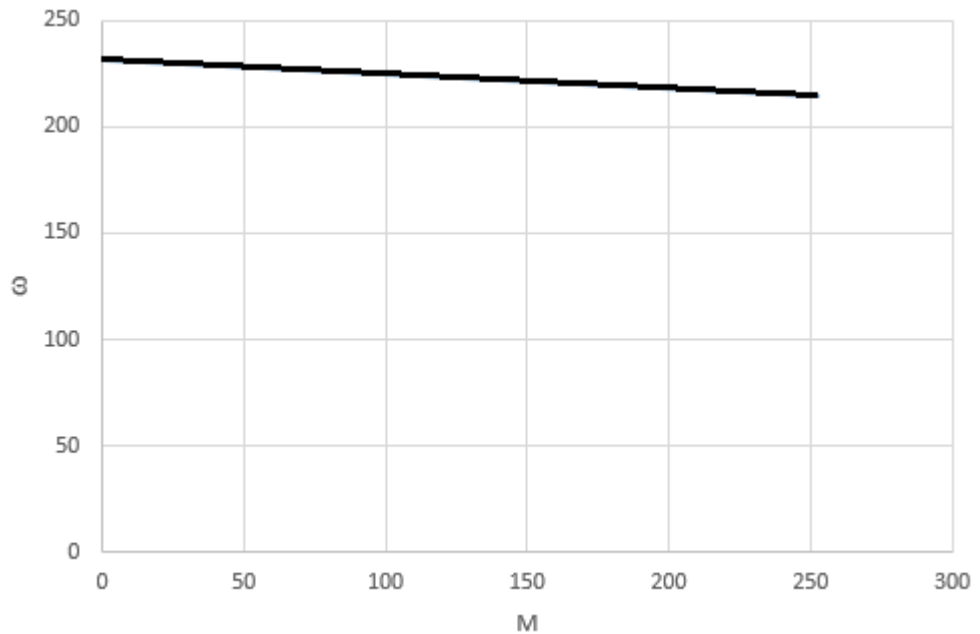


Рисунок 4.1 – Механическая характеристика в разомкнутой системе

4.2 Расчёт механической характеристики в замкнутой системе.

Исходя из технологического процесса, нам необходимо поддержание скорости на заданном уровне. Значит необходимо настроить замкнутую систему с контурами тока и скорости.

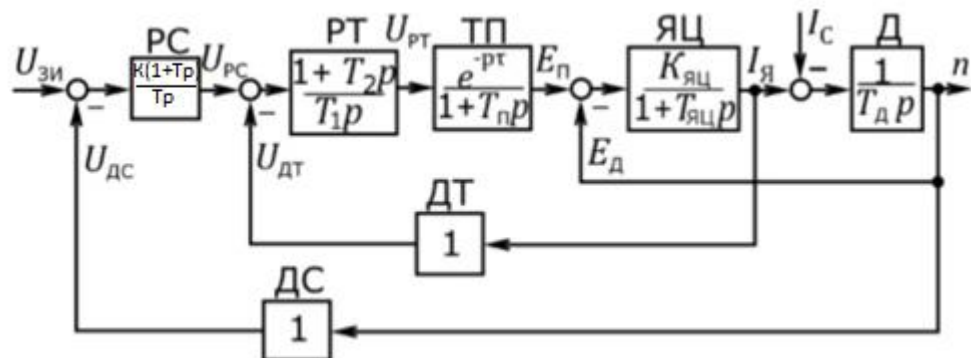


Рисунок 4.2 – Структурная схема системы управления

Произведём расчёт механической характеристики с учётом замкнутой системы.

$$M_{\text{МАКС}} = I_{\text{МАКС}} \cdot k\Phi_{\text{Н}}; \quad (59)$$

$$M_{\text{МАКС}} = 226,8 \cdot 1,64 = 372,28 \text{ А.}$$

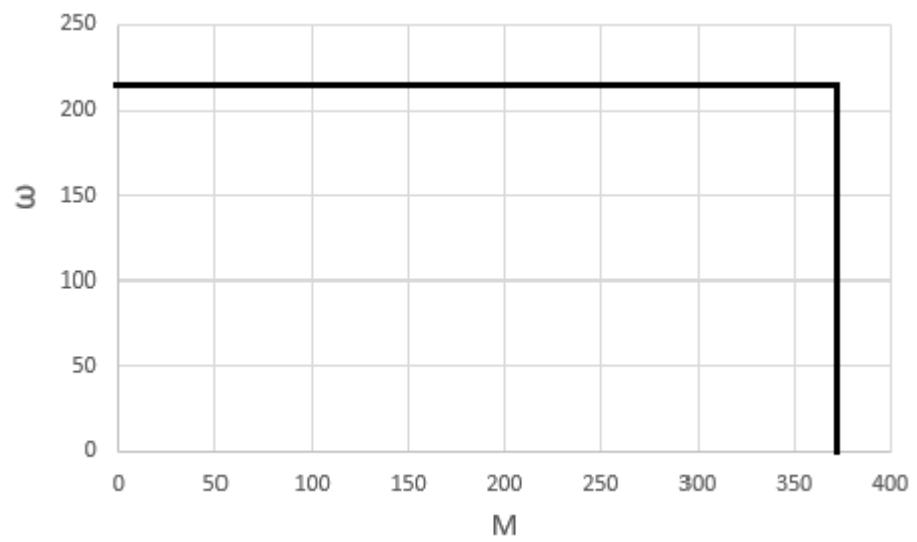


Рисунок 4.2 – Механическая характеристика замкнутой системы

5 СПИСОК СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

На основании описания технологического процесса и последовательности работы механизмом следует, что система автоматизации должна обеспечить работу в двух режимах: ручном и автоматическом.

Системой автоматизации должны быть сформированы следующие выходные команды:

- включение привода стенда для поворота в позицию разливки (СПР);
- включение привода стенда для поворота в резервную позицию (СНР);
- включение привода стопора (СП);
- включение привода кристаллизатора (КР);
- включение привода вытягивания слитка (ВС);
- включение привода резки для движения вниз (ПРН).
- включение привода резки для движения вверх (ПРВ).

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

- сигнал «Питания» (Пит);
- сигнал «Авария» (Авария);
- сигнал «Неисправность привода стенда» (АврСН);
- сигнал «Неисправность привода стопора» (АврСП);
- сигнал «Неисправность привода кристаллизатора» (АврКР);

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

- сигнал «Неисправность привода вытягивания слитка» (АврВС);
- сигнал «Неисправность привода резки» (АврПР);
- сигнал «Неисправность датчиков» (АврД).

Для управления системой автоматизации используется пульт оператора, (изображенный на рисунке 2), представляющий собой панель с блоками кнопок, формирующих следующие выходные сигналы:

- сигнал «Питание» (кнПит);
- сигнал «Ручной режим» (РучР);
- сигнал «Автоматический режим» (Автр);
- сигнал «Сброс Аварии» (СбросА);
- сигнал «Пуск» (Пуск);
- сигнал «Стоп» (Стоп);
- сигнал «Поворот станда в позицию разливки» (кнСПР);
- сигнал «Поворот станда в резервную позицию» (кнСНР);
- сигнал «Привод стопора» (кнСП);
- сигнал «Привод кристаллизатора» (кнКР);
- сигнал «Привод вытягивания слитка» (кнВС);
- сигнал «Привод резки вниз» (кнПРН);
- сигнал «Привод резки вверх» (кнПРВ).

Для автоматизации работы системы необходимо иметь информацию о состоянии системы, поэтому есть необходимость использования следующих датчиков технологической информации:

- датчик, сигнализирующий о том, что ковш установлен на плечо станда (КНП);
- датчик, сигнализирующий о том, что станд в позиции разливки (ДПР);
- датчик, сигнализирующий о том, что станд в резервной позиции (ДРП);
- датчик, сигнализирующий о достижении заданного уровня металла в промежуточном ковше (ЗУМ);
- датчик, сигнализирующий о том, что слиток покинул зону охлаждения (СПО);
- датчик, сигнализирующий о необходимой длине слитка (НДС);
- датчик, сигнализирующий о крайнем нижнем положении режущего устройства (КН);
- датчик, сигнализирующий о крайнем верхнем положении режущего устройства (КВ).

В таблице представлены все сигналы и команды, используемые в системе. В этой же таблице выражено соответствие действий сигналов и команд дискретным значениям этих переменных.

Таблица 5.1 – Сигналы и команды, используемые в системе автоматизации

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
Входные сигналы пульта управления и выходные контроллера	Пит	Лампа индикации «Питания»	Есть
	Авария	Лампа индикации «Авария»	Есть
	АврСН	Лампа индикации «Неисправность привода станда»	Есть

	АврСП	Лампа индикации «Неисправность привода стопора»	Есть
--	-------	---	------

Продолжение таблицы 5.1

	АврКР	Лампа индикации «Неисправность привода кристаллизатора»	Есть
	АврВС	Лампа индикации «Неисправность привода вытягивания слитка»	Есть
	АврПР	Лампа индикации «Неисправность привода резки»	Есть
	АврД	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	Есть
Выходные сигналы пульта управления	кнПит	Ключ-бирка «Питание»	Ключ повернут
	АвТР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут вправо
	РучР	Переключатель «Автоматический/ручной режим»	Повернут влево
	СбросА	Кнопка «Сброс аварии»	Нажата один раз
	Пуск	Кнопка «Пуск»	Нажата один раз
	Стоп	Кнопка «Стоп»	Нажата один раз
	кнСПР	Кнопка «Поворот станда в позицию разливки»	Нажата
	кнСНР	Кнопка «Поворот станда в резервную позицию»	Нажата
	кнСП	Кнопка «Привод стопора»	Нажата
кнКР	Кнопка «Привод кристаллизатора»	Нажата	

Продолжение таблицы 5.1

Переменные	Обозначение	Наименование	Принятое значение (единица)
	кнВС	Кнопка «Привод вытягивания слитка»	Нажата
	кнПРН	Кнопка «Привод резки вниз»	Нажата
	кнПРВ	Кнопка «Привод резки вверх»	Нажата
Выходные сигналы контроллера	СПР	включение привода станда для поворота в позицию разливки	Есть
	СНР	включение привода станда для поворота в резервную позицию	Есть
	СП	включение привода стопора	Есть
	КР	включение привода кристаллизатора	Есть
	ВС	включение привода вытягивания слитка	Есть
	ПРН	включение привода резки для движения вниз	Есть
	ПРВ	включение привода резки для движения вверх	Есть
Входные сигналы контроллера	КНП	датчик, сигнализирующий о том, что ковш установлен на плечо станда	Есть
	ДПР	датчик, сигнализирующий о том, что станд в позиции разливки	Есть
	ДРП	датчик, сигнализирующий о том, что станд в резервной позиции	Есть
	ЗУМ	датчик, сигнализирующий о достижении заданного уровня металла в промежуточном ковше	Есть

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

44

Продолжение таблицы 5.1

	СПО	датчик, сигнализирующий о том, что слиток покинул зону охлаждения	Есть
	НДС	датчик, сигнализирующий о необходимой длине слитка	Есть
	КН	датчик, сигнализирующий о крайнем нижнем положении режущего устройства	Есть
	КВ	датчик, сигнализирующий о крайнем верхнем положении режущего устройства	Есть

6 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМАМИ ОБЪЕКТА

Привод станда

Сигнал на включение привода станда для поворота в позицию разливки возникает в автоматическом режиме при нажатии кнопки «Пуск» и если ковш установлен на плечо станда, и сохраняется пока станд не переместился в позицию разливки или пока не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода станда для поворота в позицию разливки возникает при нажатой кнопке «Поворот станда в позицию разливки» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$СПР = ((\text{Пуск} \cdot \text{КНП} + \text{СПР}) \cdot \overline{\text{ДПР}} \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \text{АвтР} \cdot \overline{\text{Авария}} + \text{кнСПР} \cdot \text{РучР}).$$

Сигнал на включение привода станда для поворота в резервную позицию возникает в автоматическом если слиток покинул зону охлаждения, и сохраняется пока станд не переместится в резервную позицию или пока не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода станда для поворота в резервную позицию возникает при нажатой кнопке «Поворот станда в резервную позицию» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$СНР = ((\text{СПО} + \text{СНР}) \cdot \overline{\text{ДРП}} \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \text{АвтР} \cdot \overline{\text{Авария}} + \text{кнСНР} \cdot \text{РучР}).$$

Привод стопора

Сигнал на включение привода стопора возникает в автоматическом режиме если металл достиг заданного уровня в промежуточном ковше до тех пор, пока не слиток не покинул зону охлаждения и не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода стопора возникает при нажатой кнопке «Привод стопора» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$СП = ((\text{ЗУМ} + \text{СП}) \cdot \overline{\text{СПО}} \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \text{АвтР} \cdot \overline{\text{Авария}} + \text{кнСП} \cdot \text{РучР}).$$

Привод кристаллизатора

Сигнал на включение привода кристаллизатора возникает в автоматическом режиме если металл достиг заданного уровня в промежуточном ковше до тех пор, пока не слиток не покинул зону охлаждения и не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода кристаллизатора возникает при нажатой кнопке «Привод кристаллизатора» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$КР = ((ЗУМ + КР) \cdot \overline{СПО} \cdot \overline{Стоп} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария} + кнКР \cdot РучР).$$

Привод вытягивания слитка

Сигнал на включение привода вытягивания слитка возникает в автоматическом режиме если металл достиг заданного уровня в промежуточном ковше или если привод резки движется вверх, и сохраняется пока привод резки не начнет движение вниз и пока не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода вытягивания слитка возникает при нажатой кнопке «Привод вытягивания слитка» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$ВС = ((ЗУМ + ПРВ + ВС) \cdot \overline{ПРН} \cdot \overline{Стоп} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария} + кнВС \cdot РучР).$$

Привод резки

Сигнал на включение привода резки для движения вниз возникает в автоматическом режиме если поступил сигнал с датчика о необходимой длине слитка, и сохраняется пока режущее устройство не достигнет крайнего нижнего положения и пока не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода резки для движения вниз возникает при нажатой кнопке «Привод резки вниз» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$ПРН = ((НДС + ПРН) \cdot \overline{КН} \cdot \overline{Стоп} \cdot АвтР \cdot \overline{Авария} + кнПРН \cdot РучР).$$

Сигнал на включение привода резки для движения вверх возникает в автоматическом режиме если режущее устройство находится в крайнем нижнем положении и отсутствует сигнал о необходимой длине слитка, и сохраняется пока режущее устройство не достигнет крайнего верхнего положения и пока не нажата кнопка «Стоп», в отсутствие сигнала «Авария». В ручном режиме сигнал на включение привода резки для движения вверх возникает при нажатой кнопке «Привод резки вверх» и отсутствии сигнала «Авария»:

$$\text{ПРВ} = ((\text{КН} \cdot \overline{\text{НДС}} + \text{ПРВ}) \cdot \overline{\text{КВ}} \cdot \overline{\text{Стоп}} \cdot \overline{\text{АвтР}} \cdot \overline{\text{Авария}} + \text{кнПРВ} \cdot \text{РучР}).$$

Аварийные сигналы

Сигнал аварии возникает при неисправности механизмов и датчиков, в отсутствие нажатой кнопки «Сброс Аварии»:

$$\text{Авария} = (\text{АврСН} + \text{АврСП} + \text{АврКР} + \text{АврВС} + \text{АврПР} + \text{АврД} + \text{Авария}) \cdot \overline{\text{СбросА}}.$$

7 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

На основе описания технологического процесса, автоматизируемого объекта, определенных входных и выходных команд была составлена схема электрическая функциональная, представленная на рисунке 3.

В рассматриваемой системе автоматизации можно выделить следующие функциональные элементы:

- пульт управления (ПУ);
- блок управления (БУ);
- системы управления двигателями (СУД);
- приводной двигатель (М1) станда;
- приводной двигатель (М2) стопора;
- приводной двигатель (М3) кристаллизатора;
- приводной двигатель (М4) вытягивания слитка;
- приводной двигатель (М5) резки;
- датчики технологической информации (КНП, ДПР, ДРП и т.д.);
- блок питания (БП).

На функциональной схеме показана взаимосвязь отдельных элементов системы автоматизации.

На пульте управления предусмотрены:

- индикационные светодиодные лампы с целью индикации состояния системы (режима работы): «Автоматический», «Ручной», «Питание», «Авария», «Неисправность привода станда», «Неисправность привода стопора», «Неисправность привода кристаллизатора», «Неисправность привода

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

вытягивания слитка», «Неисправность привода резки», «Неисправность датчиков»;

- кнопки управления работой приводов «Пуск», «Стоп», «Поворот станда в позицию разливки», «Поворот станда в резервную позицию», «Привод стопора», «Привод кристаллизатора», «Привод вытягивания слитка», «Привод резки вниз», «Привод резки вверх», а также кнопка «Сброс аварии»;

- переключатель положений автоматического и ручного режима работы.

Питание контроллера, пульта управления и датчиков осуществляется от блока питания, преобразующего переменный трехфазный ток напряжением 380В в постоянный ток напряжением 24В.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

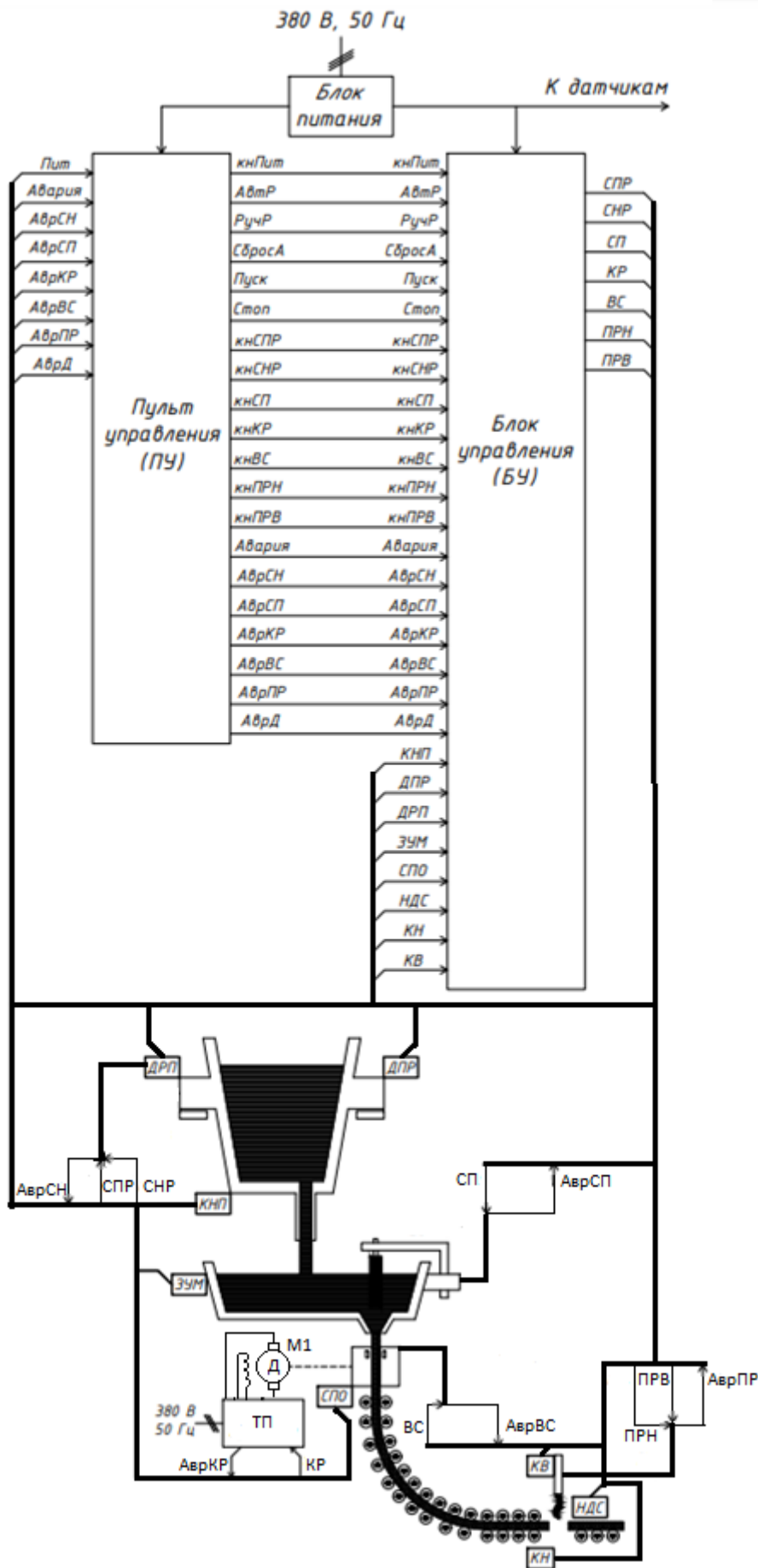


Рисунок 7.1 – Функциональная схема системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

8 ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Выбор блока управления

В качестве блока управления выберем контроллер Direct LOGIC 06

Контроллер включает в себя фиксированное количество точек ввода/вывода (20 входных и 16 выходных сигналов) с 4 дополнительными слотами расширения.



Рисунок 8.1 – Внешний вид контроллера DL06

Выбор дополнительного модуля входов

В ходе проектирования системы автоматизации, программируемому контроллеру необходимо иметь 26 входных и 8 выходных сигналов.

Контроллер DL06 имеет всего 20 входных и 16 выходных сигналов, в связи с этим необходимо выбрать модуль дополнительных дискретных входов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

52

Выбираем модуль дискретных входов D0-16TD1, который содержит 16 входов.

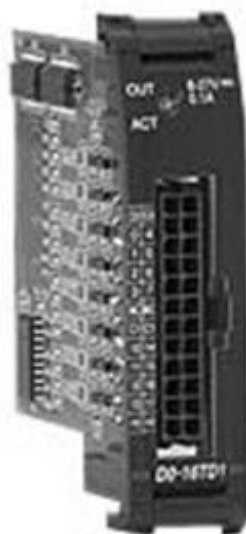


Рисунок 8.2 – Внешний вид модуля дискретных входов D0-16TD1

Выбор датчиков технологической информации

Для определения положений механизмов выберем оптический датчик OS AC42A-32P-10-LZS4 фирмы «ТЕКО». Датчик состоит из излучателя и приемника, встроенных в корпус.

Оптическое излучение инфракрасного спектра от излучателя попадает на световозвращатель (катафот) и, отражаясь от него, попадает в приемник датчика. Контролируемый объект, попадая в зону действия датчика, прерывает оптическое излучение и вызывает изменение выходного сигнала датчика.



Рисунок 8.3 – Внешний вид оптического датчика OS AC42A-32P-10-LZS4

Таблица 8.1 – Технические параметры оптического датчика OS AC42A-32P-10-LZS4

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	10...30 DC
Подключение	—	4pin, трехпроводной кабель
Выход		PNP
Номинальный ток	мА	250
Зона чувствительности	м	0,1-1

Для контроля уровня металла в промежуточном ковше установим сигнализатор уровня СИУР-03В. Его характеристики размещены в таблице 3.

Таблица 8.2 – Технические параметры сигнализатора уровня СИУР-03В

Наименование параметра	Размерность	Значение

Продолжение таблицы 8.2

Напряжение питания	В	20...27 DC
Номинальный ток	мА	100
Зона чувствительности	м	до 25 м
Степень защиты	—	IP65

Сенсорная панель

Пульт управления в системе автоматизации перемещения участка изделий будет представлять собой сенсорную панель DOP-W157B фирмы «Delta Electronics». Характеристики панели сведены в таблицу 9.3, а внешний вид представлен на рисунке 9.4.

Основные достоинства и преимущества DOP-W157B:

- повышенная производительность благодаря встроенному высокоскоростному процессору 1ГГц;
- повышенная стойкость к вибрациям и другим условиям окружающей среды благодаря алюминиевому корпусу;
- высоконадежный сенсорный экран с высоким разрешением и повышенной яркостью;
- многоязычный интерфейс: в дополнение к числам и английским символам поддерживается 16 языков с локализованными интерфейсами;
- поддержка установочного интерфейса в соответствии со стандартом VESA, упрощающим настенный монтаж.

Таблица 8.3 – Технические характеристики DOP-W157B

Наименование параметра	Размерность	Значение
Напряжение питания	В	24
Размер экрана	дюйм	15

Продолжение таблицы 8.3

Порты	—	RS-232/RS-422/RS-485
Потребляемая мощность	Вт	21,6
Габариты (ШхВхГ)	мм	384x295x67



Рисунок 8.4 – Сенсорная панель DOP-W157B

Выбор блока питания

Выбор блока питания необходимо производить с учетом мощности всех потребителей, питающихся от него (контроллер, датчики и пульт управления).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

56

Рассчитаем эту мощность:

$$P_{\text{Потр}} = U_{\text{контр}} \cdot I_{\text{контр}} + 7 \cdot U_{\text{Датч1}} \cdot I_{\text{Датч1}} + 1 \cdot U_{\text{Датч2}} \cdot I_{\text{Датч2}}$$

$$P_{\text{Потр}} = 24 \cdot 1 + 7 \cdot 24 \cdot 0,25 + 1 \cdot 24 \cdot 0,1 = 68,4 \text{ Вт.}$$

По полученной мощности выберем блок питания RS-75-24 — AC/DC преобразователь мощностью 75 Вт, производства компании «Mean Well». Его технические характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 8.4 – Технические характеристики источника питания RS-75-24

Наименование параметра	Размерность	Значение
Входное напряжение	В	88...264
Выходное напряжение		24
Выходная мощность	Вт	75
Выходной ток, до	А	3,2
КПД	%	88,5



Рисунок 8.5 – Внешний вид блока питания RS-75-24

Выбор электродвигателей

Электродвигатели выберем фирмы «Электромотор» серии АИР, благодаря простоте конструкции, отсутствию подвижных контактов, высокой ремонтпригодности, невысокой цене по сравнению с другими электрическими двигателями применяются практически во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства. Они используются для привода вентиляционного оборудования, насосов, компрессорных установок, станков, эскалаторов и многих других машин.

Для использования в качестве привода стенда выбираем трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИР100S4.

Таблица 8.5 – Номинальные данные электродвигателя АИР100S4

Для привода станда выберем преобразователь частоты фирмы «АВВ» серии ACS850-04-08A5-5.

Таблица 8.9 – Номинальные данные ACS850-04-08A5-5

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
04-08A5-5	380	8	3

Для привода стопора, привода резки выберем преобразователь частоты фирмы «АВВ» серии ACS850-04-04A8-5.

Таблица 8.10 – Номинальные данные ACS850-04-04A8-5

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
04-04A8-5	380	4,8	1,5

Для привода вытягивания слитка выберем преобразователь частоты фирмы «АВВ» серии ACS850-04-025A-5.

Таблица 8.11 – Номинальные данные ACS850-04-025A-5

Модель	Напряжение на входе, В	Номинальный ток на выходе, А	Допустимая мощность двигателя, кВт
04-025A-5	380	25	11

9 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ

В соответствии с выбранной элементной базой и разработанной функциональной схемой системы автоматизации (рисунок 3) была составлена принципиальная схема (чертеж П-477.2020.00.02 ЭЗ).

Автоматический выключатель QF1 обеспечивает питание всей системы, а также осуществляет защиту от токов короткого замыкания.

С помощью контактора KM1 реализована нулевая защита двигателей, которая исключает самозапуск электродвигателей при исчезновении или резком снижении напряжения питающей сети. При повороте ключ-бирки SA1 подается питание на силовые цепи и на пульт управления, после ее отпускания происходит самоподхват. В случае нажатия кнопки SB1 силовые цепи разрываются.

Автоматические выключатели QF2-QF6 обеспечивают питание систем управления двигателями и защищают их от токов короткого замыкания.

Блок питания G1 с выходным напряжением 24 В подает питание на основные низковольтные элементы пульт управления A1, контроллер A2 и датчики SQ1-SQ8.

Пульт A1 обеспечивает управление всем технологическим процессом в ручном и автоматическом режиме, а также индикацию аварийных режимов.

Автоматизация технологического процесса реализуется программируемым контроллером A2. Входные сигналы поступают с пульта управления A1, датчиков технологической информации SQ1-SQ8, а выходные сигналы подаются на преобразователи частоты двигателей UZ1-UZ5 и индикацию пульта управления HL1-HL8.

В данной системе автоматизации для фиксации положений механизмов используются датчики SQ1-SQ8. Выходы датчиков подключены к контроллеру A2.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

10 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На основе приведенных в п. 3 логических уравнений, а также с учетом подключения входных и выходных цепей к программируемому контроллеру, представленному на электрической принципиальной схеме П-477.2020.00.02 ЭЗ, разработаем программу. Программа в дальнейшем предназначена для записи в ПЛК DL06.

Прежде, чем записывать программу, присвоим переменным логических уравнений адреса ПЛК. Результаты представления переменных в адресах ПЛК для входных, выходных и промежуточных сигналов представлены в таблице 12.

Таблица 10.1 – Адреса переменных контроллера

№ п/п	Наименование сигнала, таймера, счетчиков или переменной	Обозначение переменной	Адрес	Связывающий элемент
	Входные сигналы			
1	Переключатель «Автоматический режим»	АвтР	X0	SA2.1
2	Переключатель «Ручной режим»	РучР	X1	SA2.2
3	Кнопка «Сброс Аварии»	СбросА	X2	SB2
4	Кнопка «Пуск»	Пуск	X3	SB3
5	Кнопка «Стоп»	Стоп	X4	SB4
6	Кнопка «Поворот станда в позицию разливки»	кнСПР	X5	SB5
7	Кнопка «Поворот станда в резервную позицию»	кнСНР	X6	SB6
8	Кнопка «Привод стопора»	кнСП	X7	SB7
9	Кнопка «Привод кристаллизатора»	кнКР	X10	SB8

Продолжение таблицы 10.1

10	Кнопка «Привод вытягивания слитка»	кнВС	X11	SB9
11	Кнопка «Привод резки вниз»	кнПРН	X12	SB10
12	Кнопка «Привод резки вверх»	кнПРВ	X13	SB11
13	датчик, сигнализирующий о том, что ковш установлен на плечо станда	КНП	X14	SQ1
14	датчик, сигнализирующий о том, что станд в позиции разливки	ДПР	X15	SQ2
15	датчик, сигнализирующий о том, что станд в резервной позиции	ДРП	X16	SQ3
16	датчик, сигнализирующий о достижении заданного уровня металла в промежуточном ковше	ЗУМ	X17	SQ4
17	датчик, сигнализирующий о том, что слиток покинул зону охлаждения	СПО	X20	SQ5
18	датчик, сигнализирующий о необходимой длине слитка	НДС	X21	SQ6
19	датчик, сигнализирующий о крайнем нижнем положении режущего устройства	КН	X22	SQ7
20	датчик, сигнализирующий о крайнем верхнем положении режущего устройства	КВ	X23	SQ8
21	Лампа индикации «Неисправность привода станда»	АврСН	X24	HL2
22	Лампа индикации «Неисправность привода стопора»	АврСП	X25	HL3
23	Лампа индикации «Неисправность привода кристаллизатора»	АврКР	X26	HL4

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

63

Продолжение таблицы 10.1

24	Лампа индикации «Неисправность привода вытягивания слитка»	АврВС	X27	HL5
25	Лампа индикации «Неисправность привода резки»	АврПР	X30	HL6
26	Лампа индикации «Неисправность датчиков»	АврД	X31	HL7
	Выходные сигналы			
27	Лампа индикации «Авария»	Авария	Y0	HL8
28	включение привода стенда для поворота в позицию разливки	СПР	Y1	UZ1
29	включение привода стенда для поворота в резервную позицию	СНР	Y2	UZ1
30	включение привода стопора	СП	Y3	UZ2
31	включение привода кристаллизатора	КР	Y4	UZ3
32	включение привода вытягивания слитка	ВС	Y5	UZ4
33	включение привода резки для движения вниз	ПРН	Y6	UZ5
34	включение привода резки для движения вверх	ПРВ	Y7	UZ5

Уравнения с учетом адресации контроллера представлены в таблице 13

Таблица 10.2 – Уравнения в адресации контроллера DL06

Команда	Уравнения в адресах ПЛК
Y0	$Y0 = (X24 + X25 + X26 + X27 + X30 + X31 + Y0) \cdot \overline{X2}$
Y1	$Y1 = ((X3 \cdot X14 + Y1) \cdot \overline{X15} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X5 \cdot X1)$
Y2	$Y2 = ((X20 + Y2) \cdot \overline{X16} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X6 \cdot X1)$

Продолжение таблицы 10.2

Y3	$Y3 = ((X17 + Y3) \cdot \overline{X20} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X7 \cdot X1)$
Y4	$Y4 = ((X17 + Y4) \cdot \overline{X20} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X10 \cdot X1)$
Y5	$Y5 = ((X17 + Y7 + Y5) \cdot \overline{Y6} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X11 \cdot X1)$
Y6	$Y6 = ((X21 + Y6) \cdot \overline{X22} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X12 \cdot X1)$
Y7	$Y7 = ((X22 \cdot \overline{X21} + Y7) \cdot \overline{X23} \cdot \overline{X4} \cdot X0 \cdot \overline{Y0} + X13 \cdot X1)$

10.4 Лестничная диаграмма

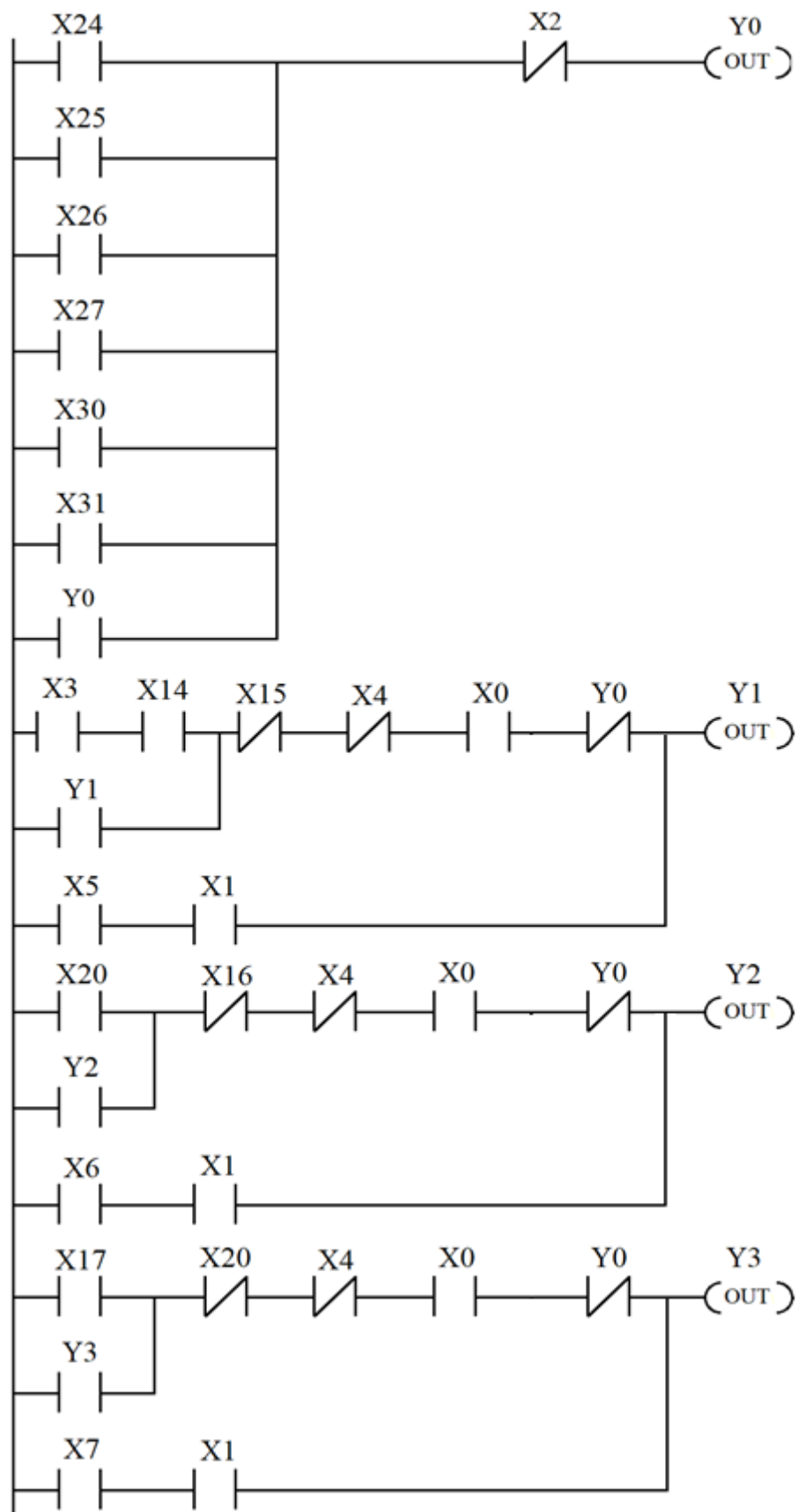


Рисунок 10.1 – Лестничная диаграмма системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

66

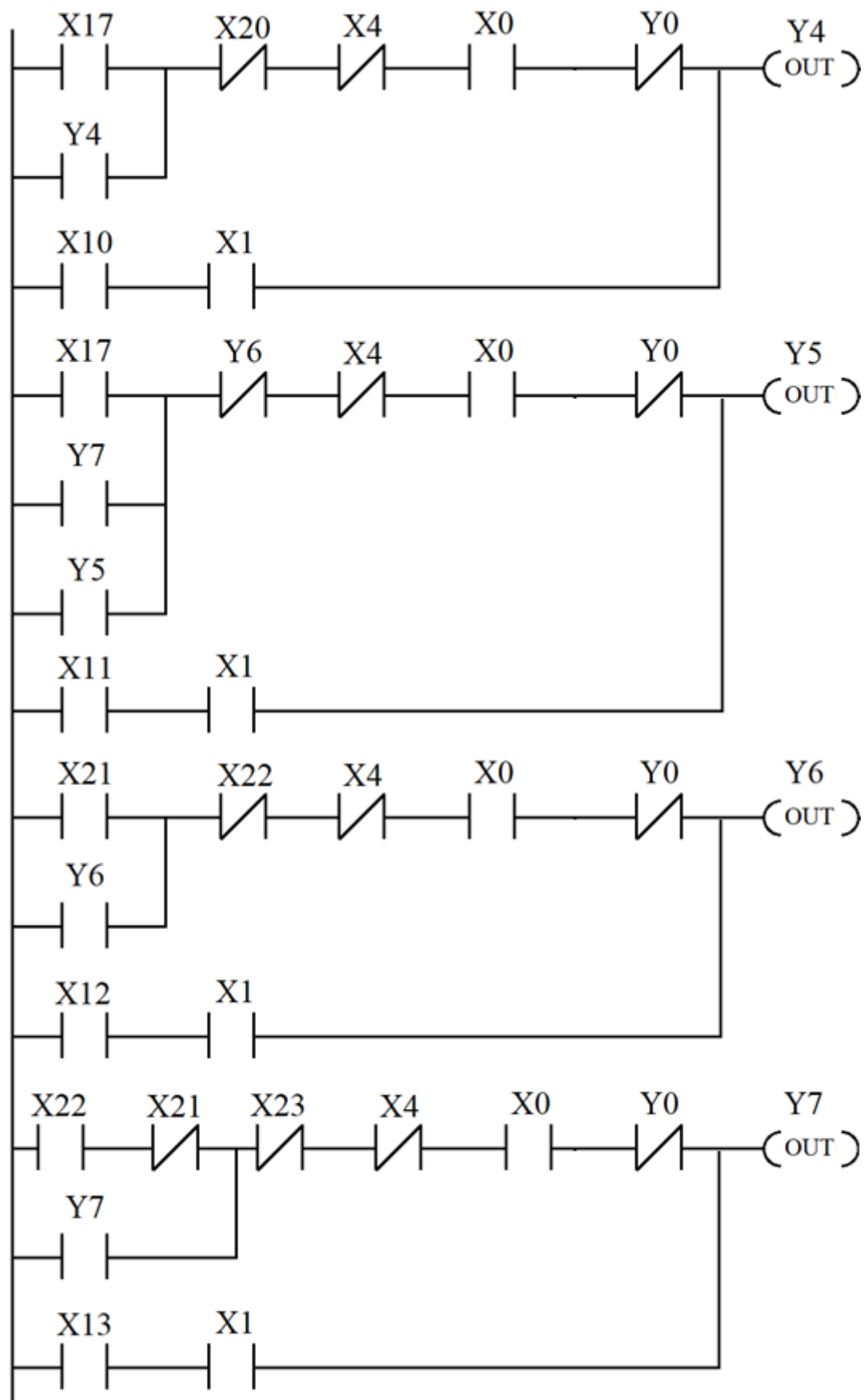


Рисунок 10.2 – Лестничная диаграмма системы автоматизации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ

Лист

67

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работе был разработан электропривод механизма качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок.

Первым этапом стал расчет мощности электродвигателя, выбор редуктора и построение нагрузочных диаграмм момента, на основании которых был выбран двигатель постоянного тока «ЛАК 4160 ВВ 501 – ЕВ» и был выбран коническо – цилиндрический двухступенчатый редуктор КЦ1 – 200. Кроме того, были построены механические характеристики в разомкнутой и замкнутой системах.

Так же в данной работе была разработана система автоматизации рабочего цикла машины непрерывного литья заготовок. На основе описания технологического процесса, последовательности работы механизмов и требований к данной системе был разработан алгоритм работы системы автоматизации в виде логических уравнений, были составлены лестничные диаграммы для контроллера DL-06. Также был разработан пульт управления системой автоматизации.

На основе требований к системе автоматизации, алгоритма работы автоматики отдельных механизмов и выбранной элементной базы была составлена функциональная и принципиальная схемы.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Борисов А.М. Автоматизация технологических процессов и установок: учебное пособие / А.М. Борисов, А.С. Нестеров, А.Н. Горожанкин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 160 с.

2 Борисов А.М. Средства автоматизации и управления: учебное пособие / Борисов А.М., Нестеров А.С. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 207 с.

3 Борисов А.М. Программируемые устройства автоматизации: учебное пособие / Борисов А.М., Нестеров А.С., Логинова Н.А. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с.

4 В мире металлургии [Электронный ресурс]: Металлургический словарь URL: <https://steeltimes.ru/glossary/eng/C/continuouscastingmachine.php> (дата обращения 20.02.2020)

5 УралИндуктор [Электронный ресурс]: Машина непрерывного литья заготовок URL: <https://uralinduktor.ru/products/mashiny-nepreryvnogo-litya-zagotovok-mnlz/mnlz-mashiny-nepreryvnogo-litya-zagotovok-dlya-stali/> (дата обращения 20.02.2020)

6 Украинская ассоциация сталеплавильщиков [Электронный ресурс]: Непрерывная разливка стали на металлургических мини-заводах URL: <https://uas.su/books/2011/minizavod/41/razdel41.php> (дата обращения 20.02.2020)

7 Украинская ассоциация сталеплавильщиков [Электронный ресурс]: Общие принципы системы технологий непрерывного литья, архитектура МНЛЗ и ее основные функциональные узлы URL: <https://uas.su/books/mnlz/1.2/razdel12.php> (дата обращения 20.02.2020)

8 Украинская ассоциация сталеплавильщиков [Электронный ресурс]: Конструктивные особенности кристаллизаторов МНЛЗ URL: <https://uas.su/books/mnlz/3.3.3/razdel333.php> (дата обращения 20.02.2020)

9 Студенческая библиотека онлайн [Электронный ресурс]: Конструкция приводов качания кристаллизатора URL:

19 Кравчик А.Э. Ассинхронные двигатели серии 4А / Кравчик А.Э. Шлаф М.М. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504с.

20 Системы управления электроприводов: Учебное пособие к курсовому проектированию / Ю.С. Усынин, А.Е. Бычков. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 20158. – 47 с.

21 Марголин Ш.М. Электропривод маши непрерывного литья заготовок / Марголин Ш.М: - М.: Metallurgy 1987. - 279с.

22 Стандарт предприятия: курсовые и дипломные проекты. Общие требования к оформлению. СТП ЧГТУ 04-96. – Челябинск: ЧГТУ, 2001. – 40 с.

23 Электронный справочник технических данных Mean Well – <https://www.meanwell-web.com/en/product-info/ac-dc-power-supply/open-frame/gt-151-w/pid-250/product/PID-2>

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.477.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

