

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра „Электропривод и автоматизация промышленных установок“

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой Д.Т.Н.  
Самитов П.И., профессор  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«    »    20    г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Разработка алгоритма и программы синтеза параметров системы управления двухдвигательного электропривода предельного вращательного момента

Специальность \_\_\_\_\_

Выполнил (а) Машетбакиев А.Ю. ЭАТК-12-3  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Шагалин Ю.И., ст. преп.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Жакупов А.А., к.э.н., профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 27 » 05 20 16 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Сыртасова Т.С., к.т.н., ст. преп.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 07 » 06 20 16 г.  
(подпись)

Нормоконтролер: Кузьмин Ю.В., ст. преп.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 08 » 06 20 16 г.  
(подпись)

Рецензент: Жармагамбетова М.С., к.т.н., доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 09 » 06 20 16 г.  
(подпись)

Алматы 2015г.

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический  
Специальность Электроэнергетика - 53041800  
Кафедра "Электропривод и автоматизация промышленных установок"

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Мамбетбаев Аким Юлзаханович  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Разработка алгоритма и программа синтеза параметров системы управления двухдвигательного электропривода промежуточного валочного стана

утверждена приказом ректора № 148 от «19» октября 2015 г.

Срок сдачи законченной работы «   »     20    г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

- 1) Параметры валочных стана;
- 2) Каталоги асинхронных двигателей;
- 3) Схемы систем автоматизированных электроприводов;
- 4) Каталоги осветительных приборов;
- 5) Каталоги стоимости электрооборудования

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

- 1) Технические валочные проволоки и существующие системы электропривода валочных стана;
- 2) Разработка алгоритма и программы синтеза параметров системы управления двухдвигательного электропривода промежуточного валочного стана;
- 3) Структурная схема и математическое описание
- 4) Безопасность жизнедеятельности
- 5) Экономическая часть. Технико-экономическое обоснование применения газотурбинного асинхронного электропривода промежуточного валочного стана.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- 1) Схемы процесса волочения;
- 2) Схема технологической линии непрерывного и-кратного волочильного стана;
- 3) Кинематическая схема прямого волочильного стана;
- 4) Функциональная схема электропривода прямого волочильного стана с саморегулируемым процессом волочения;
- 5) Функциональная схема электропривода с параллельным соединением скорей двигателей;
- 6) Функциональная схема электропривода с индивидуальными тягами двигателей;
- 7) Структурная схема замкнутой системы ПЭ-АП;
- 8) Безопасность жизнедеятельности.
- 9) Экономическая часть.

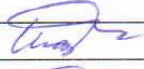
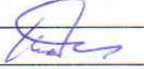

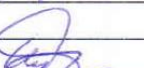
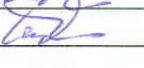


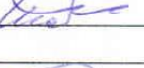
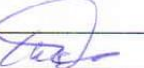
Рекомендуемая основная литература

- 1) Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования - М.: Наука, 1975
- 2) Саитов П.И., Терешин К.Г., Шахши Ю.И. Параметрический синтез систем управления многозвездного асинхронного электропривода // Вестник Алмаатинского университета энергетики и строительства - 2011, №2 (13), с 63-66.
- 3) Рахимов А.А., Рахимова А.В. Влияние противосапжания на очаг деформации при волочении проволоки. // Тр. конференции, 2006. С 137-139.
- 4) Терехов В.И., системы управления электроприводов.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
экономическая часть	Жакупов А.А.	26.05.16	
БЖД	Иштаньева Т.С.	8.02-4.06	
основная часть	Шахши Ю.И.		

**Г Р А Ф И К**  
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Основные моменты электропривода	8.03.2016	
2.	Технологии выполнения проволочки	15.03.2016	
3.	Система параметров системы	1.04.2016	
4.	Устойчивость системы	9.04.2016	
5.	Структурная и математическая модель электропривода стана	16.04.2016	
6.	Расчет защитного заземления	29.04.2016	
7.	Нормирование параметров микроклимата в цехе	4.05.2016	
8.	Расчет технико-экономических показателей	15.05.2016	
9.	Расчет экономической выгоды за счет внедрения системы ПЧ-АП.	27.05.2016	

Дата выдачи задания « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Руководитель \_\_\_\_\_

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

## **Аннотация**

В моей дипломной работе разработана система управления выравнивания противонапряжения в прямоточном волочильном стане, которая учитывает разность скоростей между первым и вторым двигателями. Также создана структурная и математическая модели асинхронного электропривода волочильного стана. В работе показана созданная программа синтеза параметров системы управления двухдвигательного электропривода прямоточного волочильного стана. Разработана устойчивость движения прямоточного волочильного стана в системе Matlab.

В разделе охрана труда рассмотрены вопросы по мерам безопасности при работе с волочильными станами ,нормированию микроклимата в рабочей площади цеха с волочильным оборудованием, рассчитано защитное заземление, проделан разбор условий труда работников цеха.

Проделано технико-экономическое обоснование работы, которое доказывает его эффективность, при сроке окупаемости в 7 месяцев.

## Аңдатпа

Менің дипломдық жұмыста басқару жүйесі теңестіру противонатяжения прямоточном волочильном қосында, ол ескереді айырмасы жылдамдықтар арасындағы бірінші және екінші қозғалтқыштары бар. Сондай-ақ, құрылған құрылымдық және математикалық моделі асинхронды электржетектің орнағының. Жұмыста көрсетілген, құрылған басқару жүйесінің параметрлер синтезінің бағдарламасы двухдвигательного электржетектің тура ағынды сым созатын орнақты. Әзірленді және қозғалыстың орнықтылығы тура ағынды сым созатын станының Matlab жүйесінде.

Бөлімінде еңбекті қорғау мәселелері бойынша қауіпсіздік шаралары жұмыс істеу кезінде волочильными елдері , нормалау микроклимат жұмыс алаңында цехының волочильным жабдықтармен, есептелген қорғаныс жерге тұйықтау атқарылды талдау қызметкерлердің еңбек жағдайларын цех.

Атқарылды техникалық-экономикалық негіздемесі, ол дәлелдейді, оның тиімділігі, өзін-өзі ақтау мерзімі 7 ай.

## **Annotation**

In my thesis the control system of alignment of an antitension in a direct-flow drawing camp which considers a difference of speeds between the first and second engines is developed. It is also created structural and mathematical models of the asynchronous electric drive of a drawing camp. In work the created program of synthesis of parameters of a control system of the two-engine electric drive of a direct-flow drawing camp is shown. Stability of the movement of a direct-flow drawing camp in the Matlab system is developed.

In the section labor protection questions on security measures during the work with drawing camps are considered, to rationing of a microclimate in the working area of shop with the drawing equipment, protective grounding is calculated, analysis of working conditions of employees of shop is done.

The feasibility study on work which proves its efficiency, at a payback period in 7 months is done.

## Содержание

Введение .....	13
1 Система волочения проволоки и возможные системы электроприводов волочильных станов.....	14
1.1 Технологический процесс волочения проволоки и его особенности.....	14
1.2 Влияние противонапряжения на эффективность процесса волочения.....	17
1.2.1 Конструкции петлевых и прямоточных волочильных станов.....	17
1.2.2 Электропривод с последовательным соединением якорей двигателей стана .....	20
1.3.3 Электропривод с параллельным соединением якорей двигателей.....	22
1.3.4 Электропривод с самостоятельным питанием двигателей .....	23
1.4 Технологические требования к электроприводу прямоточного волочильного стана.....	24
1.5 Выбор типа электроприводов прямоточного волочильного стана .....	25
2 Разработка алгоритма синтеза параметров системы двухдвигательного электропривода прямоточного волочильного стана. ....	26
2.1 Синтез структурной схемы двухдвигательного электропривода волочильного стана.....	26
2.2 Математическое описание динамики движения двухдвигательного асинхронного электропривода прямоточного волочильного стана .....	30
2.3 Устойчивость системы управления асинхронного электропривода прямоточного волочильного стана.....	35
2.4 Параметрический синтез системы управления двухдвигательного электропривода волочильного стана .....	38
2.4.1 Основные задачи синтеза автоматических систем управления электроприводами на ЭВМ.....	38
2.4.2 Передаточная функция системы управления прямоточного волочильного стана .....	39
3 Безопасность жизнедеятельности.....	45
3.2 Расчет защитного заземления .....	46
3.3 Нормированные параметры микроклимата.....	49
3.4 Организация безопасности при работе с волочильными станами .....	50
4 Экономическая часть.....	55
4.1 Эффективность использования системы управления частотно - регулируемого асинхронного электропривода прямоточного волочильного стана..	55
4.2 Экономическое обоснование проекта.....	55
4.3 Расчет затрат на разработку изготовления готовой продукции.....	56
4.4 Расчет капиталовложений и экономической эффективности по варианту ТПБ .....	56
4.5 Расчет эффективности по варианту ТПА .....	61
4.7 Затраты на ремонт и межремонтное обслуживание .....	63
4.8 Расчет срока окупаемости .....	65
Заключение .....	67
Список литературы .....	68



## Введение

Ведущей метод волочения проволоки выполняется сквозь цельные волокна на волочильных станах. Основная масса эксплуатируемых волочильных станом – это станы с скоплением (магазинного типа). Похожие станы имеют не лишь только увеличенные затраты энергии, но и неспособны воплотить в жизнь высокоскоростные процессы волочения.

Изучения технико-экономических характеристик всевозможных станом метизных заводов зарекомендовали, собственно что коэффициент технического применения волочильных станом оформляет не менее 0,5. Ведущими причинами, снижающими производительность станом считаются обрывность проволоки, гигантские издержки времени на проведение запасных операций (заправку стана, остановку для подмены катушек намоточных аппаратов).

Увеличить эффективность процесса волочения вполне вероятно использованием станом прямоточного на подобию. Впрочем у эксплуатируемых в реальное время прямоточных волочильных станом имеется высочайшая обрывность проволоки, по причине чего в кое-каких случаях затеривается до 40% рабочего времени.

Главная первопричина высочайшей обрывности проволоки – непостоянность противонатяжения, зависящая от большущего количества технологических характеристик, затрудняющих задачу технологов и волочильщиков в выборе и регулировании режимов работы электропривода. В следствие этого заключение задачи стабилизации противонатяжений проволоки надлежит опираться не на интуицию оператора-волочильщика, а на эффективную систему самодействующего регулирования.

Вопросу сотворения систем автоматического электропривода прямоточного волочильного стана приурочены к работы множества создателей. Впрочем в умиряющем большинстве из их разрабатывается, или улучшается массовый электропривод, построенный на основе движков неизменного тока с поочередным или параллельным соединением якорей.

Созданные и эксплуатируемые в реальное время системы электропривода прямоточных волочильных станом, не удовлетворяют каждый день растущим технологическим притязаниям. Заключение данной задачи имеет возможность быть было совершено при применении персональных электроприводов, реализующих заслуги прогрессивной силовой преобразовательной техники и систем самодействующего управления (САУ).

Не считая такого, за последние годы становление возымела, и доктрина обработки металлов давлением при волочении проволоки. На базе сего создателями дел предпринята попытка формулировки критериев рационального управления прямоточным волочильным станом.

# 1 Система волочения проволоки и возможные системы электроприводов волочильных станов

## 1.1 Технологический процесс волочения проволоки и его особенности

При волочении проволоки через волоку (рисунок 1.1) проволока подвергается пластической деформации и протягивается через сужающее отверстие волоки. В процессе волочения проволоки через волоку ей придается определенная форма и заданные физико-механические свойства. Степень деформации характеризуется коэффициентом вытяжки и определяется по формуле:

$$\mu = \frac{S_{л}^{вх}}{S_{л}^{вых}}, \quad (1.1)$$

где  $S_{л}^{вх}, S_{л}^{вых}$  – соответственно сечение обрабатываемой проволоки на входе в очаг деформации и на выходе из него.

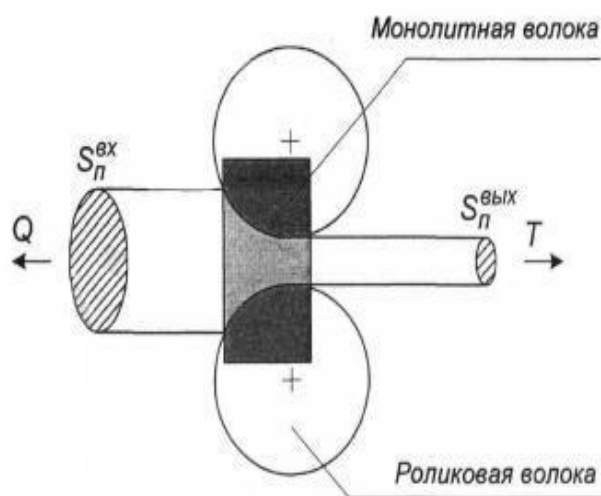


Рисунок 1.1 - Схема процесса волочения

Кроме понятия вытяжки также используется понятие логарифмический показатель деформации  $\mu$ , представляющий собой относительную деформацию.

При волочении проволоки рабочий инструмент может вращаться (роликковые волоки) и быть неподвижным (монолитные волоки). На практике наибольшее распространение получили монолитные волоки.

Баланс мощностей процесса волочения, может быть определен на основании закона сохранения энергии и записан в виде:

$$N_T - N_Q = N_{уд} + N_m + N_{дд} + N_{др}, \quad (1.2)$$

где  $N_T$ - мощность, подводимая к очагу деформации тянущим усилием  $T$  через передний конец проволоки;

$N_Q$ - мощность, подводимая к очагу деформации противонатяжением  $Q$  через задний конец проволоки;

$N_\Phi$ - мощность, затрачиваемая на формоизменение (вытяжку) металла;

$N_{уд}$ - мощность, расходуемая на упругую деформацию проволоки в волоке;

$N_m$ - мощность сил трения скольжения на контактной поверхности обрабатываемого металла с волокой (как ее конической, так и калибрующей частями);

$N_{дд}$ - мощность, затрачиваемая на создание дополнительных деформаций (сдвигов), обусловленных формой канала волоки;

$N_{др}$ - другие виды мощностей (на изменение кинетической энергии обрабатываемой проволоки и др.)

Мощности, подводимые к очагу деформации тянущим усилием и противонатяжением могут быть определены как:

$$N_T = T \cdot V_L^{ВЫХ}; N_Q = Q \cdot \frac{V_L^{ВЫХ}}{\mu}. \quad (1.3)$$

Мощность формоизменения может быть получена путем дифференцирования зависимости Финка:

$$A_\Phi = \theta \cdot \delta \cdot \ln \frac{L_{КОН}}{L_{НАЧ}} = \theta \cdot \delta \cdot \mu, \quad (1.4)$$

в виде:

$$N_\Phi = \frac{dA_\Phi}{dt} = \delta \cdot \ln \mu \cdot \frac{d\theta}{dt} = \delta \cdot \ln \mu \cdot S_\Pi^{ВЫХ} \cdot \frac{dL_L^{ВЫХ}}{dt} = \delta \cdot \ln \mu \cdot S_\Pi^{ВЫХ} \cdot V_\Pi^{ВЫХ}. \quad (1.5)$$

Из выше приведенной формулы мощность, расходуемая на упругую деформацию в волоке, может быть найдена из выражения:

$$N_{уд} = \frac{dA_{уд}}{dt} = \delta_{пц} \cdot \ln \left( \frac{\delta_{пц}}{E} + 1 \right) \cdot \frac{d\theta}{dt} = \delta_{пц} \cdot \ln \left( \frac{\delta_{пц}}{E} + 1 \right) \cdot S_\Pi^{ВХ} \cdot V_\Pi^{ВХ}. \quad (1.6)$$

Мощность трения скольжения на контактной поверхности необходимо определять с учетом двух частей канала волоки – обжимающей и калибрующей.

При волочении проволоки через волоку проволока подвергается пластической деформации и протягивается через сужающее отверстие волоки.

$$\begin{aligned} & \iint_S \tau(S) \cdot \Delta V(S) \cdot dS = N'_m + N''_m \\ & = \iint_{S_{\text{обж}}} \tau(S) \cdot \Delta V(S) \cdot dS + \iint_{S_{\text{кал}}} \tau(S) \cdot \Delta V(S) \cdot dS. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Площади поверхности обжимающей и калибрующей частей волокна могут быть определены в виде:

$$S_{\text{обж}} = 2R_{\Pi}^{\text{BX}} \cdot \pi \cdot l_{\text{обж}}, \quad S_{\text{кал}} = 2 \cdot R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} \cdot \pi \cdot l_{\text{кал}}. \quad (1.8)$$

Откуда составляющие мощности трения определяется по выражениям:

$$N'_m = \pi \cdot (R_{\Pi}^{\text{BX}} + R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}) \cdot \iint_{l_{\text{обж}}} \tau(l_{\text{обж}}) \cdot \Delta V(l_{\text{обж}}) \cdot dl_{\text{обж}}. \quad (1.9)$$

и

$$N''_m = 2 \cdot R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}} \cdot \pi \cdot \int_{l_{\text{кал}}} \tau(l_{\text{кал}}) \Delta V(l_{\text{кал}}) \cdot dl_{\text{кал}}. \quad (1.10)$$

При условии рассмотрения формирования сил трения по Зибелю:

$$\tau = f \cdot \sigma, \quad (1.11)$$

а также при принятии постоянства коэффициента трения и предела текучести вдоль очага деформации

$$f_{0 < l < l_b} = \text{const}, \quad \sigma_{0 < l < l_b} = \frac{\sigma^{\text{BX}} + \sigma^{\text{ВЫХ}}}{2}, \quad (1.12)$$

выражения для расчета мощности трения можно записать в виде:

- для обжимающей части волокна:

$$N'_m = \pi \cdot (R_{\Pi}^{\text{BX}} + R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}) \cdot f \cdot \sigma \cdot R_{\Pi}^{\text{BX}^2} \cdot V_{\Pi}^{\text{BX}} \cdot \iint_{l_{\text{обж}}} \frac{dl}{(R_{\Pi}^{\text{BX}} - \sin \alpha \cdot l)}, \quad (1.13)$$

- для калибрующей части волокна:

$$N''_m = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \frac{R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}^2}}{R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}} \cdot V_{\Pi}^{\text{ВЫХ}^2} \cdot l_{\text{кал}}, \quad (1.14)$$

- для полной мощности трения:

$$N_m = N'_m + N''_m = \pi \cdot f \cdot \sigma \cdot R_{\Pi}^{\text{ВХ}^2} \cdot V_{\Pi}^{\text{ВХ}} \cdot \left[ \int_{l_{\text{обж}}} \frac{(R_{\text{Л}}^{\text{ВХ}} + R_{\text{Л}}^{\text{ВЫХ}}) \cdot dl}{(R_{\text{Л}}^{\text{ВХ}} - \sin\alpha \cdot l)^2} + 2 \cdot \frac{l_{\text{кап}}}{R_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}} \right], \quad (1.15)$$

Полученные выражения позволяют выявить способы повышения эффективности процесса волочения.

## 1.2 Влияние противонатяжения на эффективность процесса волочения

Силы противонатяжения, возникающие в проволоке, оказывают существенное влияние на качество поверхности проволоки и на затраты электроэнергии.

Ведущими причинами воздействия противонатяжения на процесс волочения считаются:

1. С наращиванием мощности противонатяжения до кое-какого критичного смысла случается понижение мощности давления на волоку вплоть до нулевой отметки. Это безусловно позитивным образом воздействует как на стойкости волочил, например и на температурно-скоростном режиме волочения.

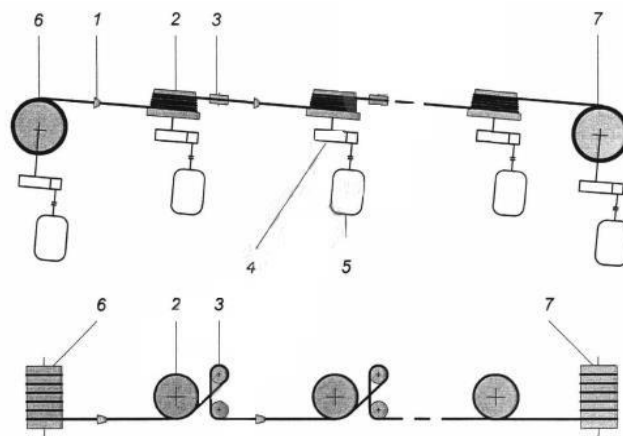
2. При приложении противонатяжения величиной, не превосходящей критичного смысла, мощность старания волочения миниатюризируется, собственно что при условии нужного применения мощности противонатяжения имеет возможность привести к увеличению к.п.д. процесса волочения в целом. Понижение старания волочения в собственную очередь разрешает наращивать отдельные обжатия за проход, возделывать трудно-деформируемые марки стали.

3. При превышении мощности противонатяжения собственного критичного смысла приращение последнего приводит к пропорциональному наращиванию мощности старания волочения, не влияющего на к.п.д. процесса, но основного к обрыву обрабатываемой проволоки.

### 1.2.1 Конструкции петлевых и прямоточных волочильных станов

На рисунке 1.2 приведена схема технологической линии многократного петлевого волочильного стана, а на рисунке 1.3 приведена схема прямоточного волочильного стана. На станах этого типа в случае размотки заготовки с бунта в качестве первого блока используют блок, по конструкции подобный стану магазинного типа (рисунок 1.4а). Последующие блоки подобны друг другу, их кинематические схемы приведены на рисунке 1.4б

В случае износа какой-нибудь волоки, или же возникновение иного возмущающего влияния, частота вращения приводных электродвигателей меняется этим образом, дабы гарантировать всепостоянство секундного размера металла в всяком пространстве стана.



1 – волока; 2 – барабан волочильного блока; 3 – петлеобразователи; 4 – редуктор, 5 – приводной электродвигатель; 6, 7 – барабаны размоточного и намоточного аппаратов

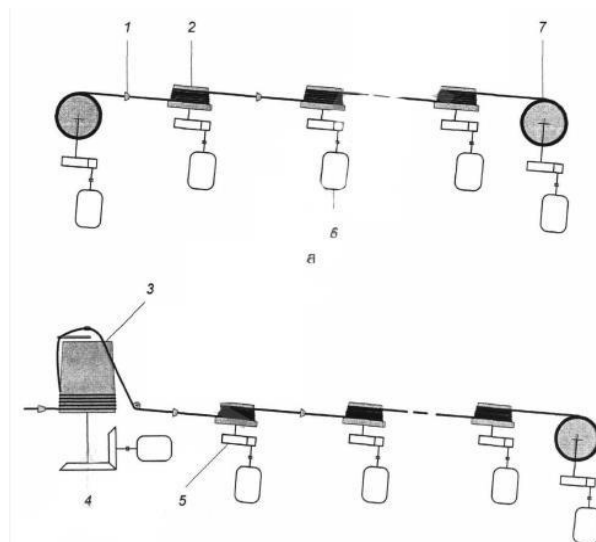
Рисунок 1.2 - Схема технологической линии непрерывного n-кратного петлевого волочильного стана

Петлевые и прямоточные волочильные станы – это агрегаты неоднократного волочения, работающие с автоматической регулировкой скоростей промежуточных барабанов без скопления проволоки на них. На петлевых станах проволока передается с барабана на тамбур сквозь особые компенсирующие ролики. При заправке стана на любой тамбур наматывается не больше 10 витков, и в процессе работы это численность проволоки остается постоянным. В случае износа какой-нибудь волоки, или же возникновение иного возмущающего влияния, частота вращения приводных электродвигателей меняется этим образом, дабы гарантировать всепостоянство секундного размера металла в всяком пространстве стана.

На прямоточных волочильных станах проволока передается именно с барабана в следующую волоку без промежуточного перегиба сквозь компенсирующие ролики. Эти станы по сопоставлению с петлевыми владеют вблизи технических превосходства, а как раз: больше высочайшей скоростью волочения, простотой системы, значимо наименьшим количеством перегибов проволоки, комфорт сервиса, больше возвышенный к.п.д. процессах.

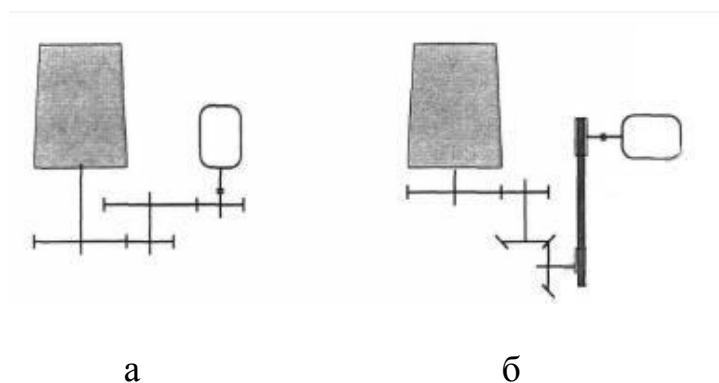
Петлевые и прямоточные волочильные станы – это агрегаты многократного волочения, работающие с автоматическим регулированием скоростей промежуточных барабанов без скопления проволоки на них. На петлевых станах проволока передается с барабана на барабан через особенные компенсирующие ролики. При заправке стана на всякий барабан наматывается не более 10 витков, и в процессе работы это количество проволоки остается неизменным.

При волочении проволоки сквозь волоку проволока подвергается пластической деструкции и протягивается сквозь сужающее отверстие волоки.



1 – волока; 2 – барабан прямоточного волочильного блока; 3 – барабан волочильного блока с накоплением; 4,5 – редукторы, 6 – приводной электродвигатель; 7 – барабан намоточного аппарата

Рисунок 1.3 - Схема технологической линии непрерывного n-кратного прямоточного волочильного стана



а – без зубчатого ремня с вертикальным расположением двигателя; б – с зубчатым ремнем с горизонтальным расположением двигателя

Рисунок 1.4 - Кинематическая схема блока петлевого и прямоточного волочильных станов

На прямоточных волочильных станах проволока передается именно с барабана в следующую волоку без промежуточного перегиба сквозь компенсирующие ролики. Эти станы по сопоставлению с петлевыми владеют вблизи технических превосходства, а как раз: больше высочайшей скоростью волочения, простотой системы, значимо наименьшим количеством перегибов проволоки, комфорт сервиса, больше возвышенный к.п.д. процессах.

### 1.2.2 Электропривод с последовательным соединением якорей двигателей стана

На рисунке 1.5 приведена активная схема электропривода петлевого волочильного стана с поочередным соединением приводных движков. Ключевой особенностью подобной схемы считается обеспечение саморегулирования процесса волочения при наличии механической связи между барабанами. В волочильном стане с подобной механической связью считается проволока, в одно и тоже время обрабатываемая в нескольких волоках. Процесс волочения выполняется при наличии задних натяжений, величины коих в широких границах возможно задать переменной струи возбуждения надлежащих приводных движков.

С целью описания процесса саморегулирования рассмотрим вариант двукратного стана. На рисунке 1.6 приведены механические характеристики двухдвигательного электропривода при последовательном соединении якорей. Для упрощения рассуждений примем радиусы вытяжных барабанов одинаковыми, а технологические и кинематические равными. В этом случае, в установившемся режиме работы, угловые скорости обоих двигателей будут равны.

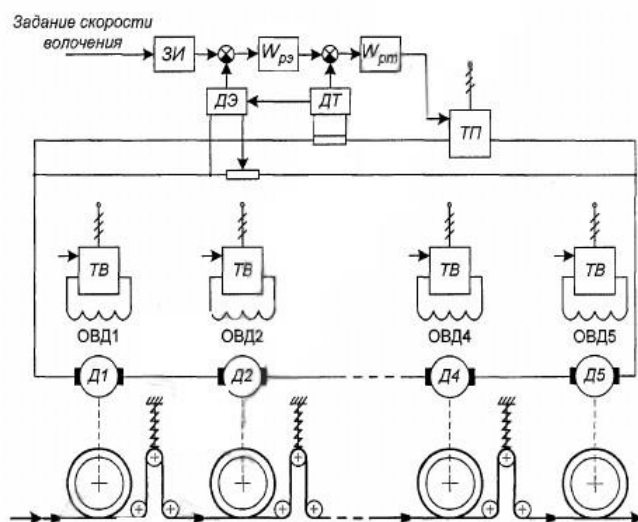


Рисунок 1.5 - Функциональная схема электропривода с последовательным соединением якорей двигателей

На рисунке 1.5 приведена функциональная схема электропривода петлевого волочильного стана с последовательным соединением приводных движков. Главной особенностью аналогичной схемы является обеспечение саморегулирования процесса волочения при наличии механической связи между барабанами. В волочильном стане с аналогичной механической связью является проволока, в одно и также время обрабатываемая в нескольких волоках. Процесс волочения производится при наличии задних натяжений, величины которых в широких границах вполне вероятно задать изменением



потока возбуждения следующих приводных движков.

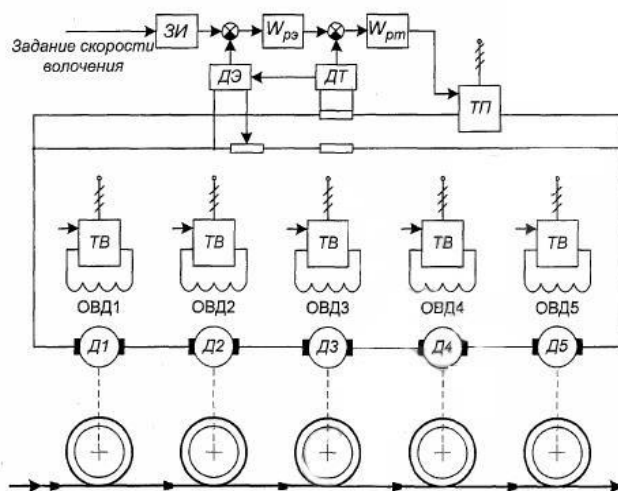


Рисунок 1.6 - Функциональная схема электропривода прямоточного волочильного стана с саморегулированием процесса волочения

Проведенные создателями дел изучения, опытно одобрили (рисунок 1.7), собственно что в случае реализации системы с саморегулированием оплошность в поддержании противонатяжения в статическом режиме добивается 50 %. В динамическом режиме противонатяжение имеет возможность быть всецело утеряно, или имеет возможность превысить граница текучести обрабатываемого металла, собственно что неизбежно приведет к аварийному режиму и, в конечном счете, - к обрыву обрабатываемой проволоки.

К недостаткам систем электропривода с саморегулированием также следует отнести:

- настройка стана на маршрут волочения производится в ручную при заданном токе якоря, при заправке стана, а поскольку усилия волочения на рабочих и заправочных скоростях отличаются, то противонатяжения в рабочем режиме устанавливаются отличные от выбранных, что в конечном счете приводит к обрыву проволоки:

- для станов большой кратности с числом переходов 3 и более необходимо использовать либо высоковольтные источники, либо двигатели специального исполнения;

- в случае обрыва проволоки все напряжение прикладывается к разгрузившемуся двигателю, что приводит к резкому увеличению частоты вращения и, как следствие, к снижению срока службы двигателя, повышенному износу механической части стана.

Для станов большущий кратности с количеством переходов 3 и больше нужно применить или высоковольтные информаторы, или движки особого исполнения;

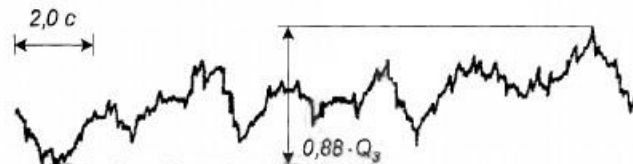


Рисунок 1.7 - Осциллограмма противонатяжения на прямоточном волочильном стане с саморегулированием

Несмотря на указанные недостатки, в настоящее время схемы с саморегулированием является наиболее распространенной для электроприводов прямоточных волочильных станов.

### 1.3.3 Электропривод с параллельным соединением якорей двигателей

При реализации схем с параллельным волочением якорей движков (рисунок 1.8) идет по стопам принимать во внимание, собственно что без нарочно санкционированных систем управления любое противонатяжение значимо, и кроме того по собственному закону, находится в зависимости от напряжения на выходе тиристорного преобразователя (частоты напряжения на выходе тиристорного преобразователя частоты). Поползновения применить параллельное слияние якорей движков выявили надлежащие дефекты:

- сложная ручная настройка стана;
- наличие со стороны волочильщика нескончаемого исследования за работой стана и контролем противонатяжения;
- крайне нестабильная работа волочильного стана (потеря противонатяжения тем более в динамических режимах, нередкий круча проволоки, проскальзывание проволоки по барабанам).

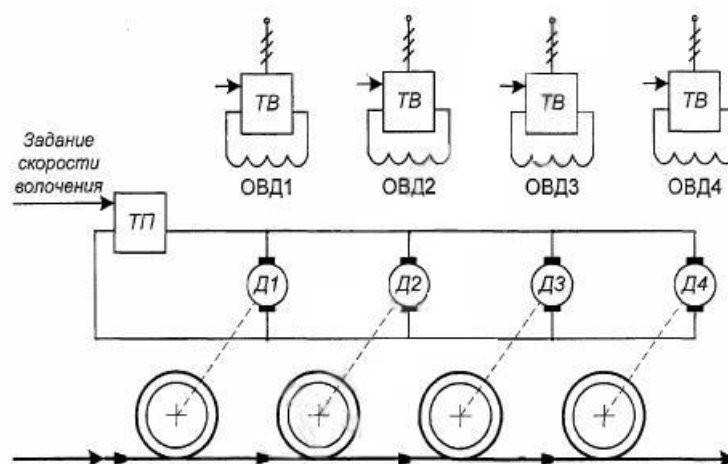


Рисунок 1.8 - Укрупненная функциональная схема электропривода с параллельным соединением якорей двигателей

Более устойчивой работы прямоточных станов с параллельным соединением движков получилось добиться при использовании систем

самодействующего управления, деятельных как системы компенсации отклонений, основных к обрыву проволоки. Метод работы аналогичных систем реализован на уравнении связи силовых характеристик процесса волочения (1.3), сообразно которому противонатяжение играет роль синхронизирующей связи меж вытяжными барабанами и гарантирует прочность процесса волочения при разного семейства возмущениях.

Популярны 2 варианта возведения этих систем электропривода – это система стабилизации противонатяжения и система стабилизации старания волочения.

В первом случае противонатяжения измеряются специальными датчиками, установленными перед каждой волокой, и сравниваются с данными значениями. Итог сопоставления сервируется в систему управления, где выполняется влияние на движок сквозь канал обмотки возбуждения. Во втором случае датчиками определяют или напряжение волочения, или противонатяжение и нажим металла на волоку. В базе систем лежит принцип регулирования усилий волочения по отклонению. Имеется информация о попытке построение систем стабилизации усилий волочения, адаптивного управления прямоточным волочильным станом. Но в силу указанных выше недостатков такие системы не нашли широкого промышленного использования.

### 1.3.4 Электропривод с самостоятельным питанием двигателей

Управление станом по каналу обмотки возбуждения, как это сделано в рассмотренных выше схемах, низкодинамично и не позволяет отрабатывать высокочастотные возмущения, связанные с колебанием натяжения и противонатяжения. Индивидуальное питание двигателей выгодно отличается тем, что обеспечивает высокое быстродействие (за счет управления двигателями постоянного тока по цепи якоря, или использования преобразователей частоты в системах привода на базе преобразователя частоты асинхронного двигателя).

На рисунке 1.9 приведена схема современного петлевого волочильного стана.

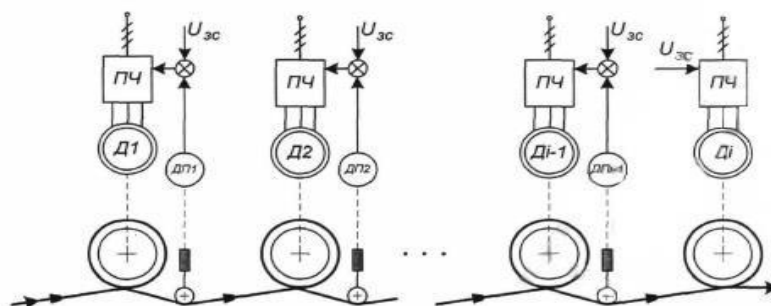


Рисунок 1.9 - Функциональная схема электропривода

#### 1.4 Технологические требования к электроприводу прямоточного волочильного стана

Запросы, предъявляемые к автоматическим электроприводам волочильных станов, ориентируются технологическим ходом. Автоматический электропривод обязан гарантировать надлежащие режимы работы: заправка стана; разбег заправленного стана из состояния спокойствия до рабочей скорости; работа на установившейся скорости; прокатка (волочение) сварных швов на пониженной скорости; торможение стана; аварийный останов стана.

Процесс заправки стана, т.е. заправки проволоки во все волокна и на шпулю моталки, считается одной из более трудозатратных операций. Во время заправки выполняется подготовительное пропускание проволоки сквозь отверстие волокна и ее намотки на вытяжном барабане и на шпуле моталки. Как правило, заправка стана выполняется в ручную в толчковом режиме и сопрягается с (для нескончаемых станов) неоднократными запусками и торможениями, как отдельных блоков, например и всего стана в целом. Размер заправочной скорости не обязана превосходить 0.5...1 м/с. Это лимитирование вводится с целью минимизации обрыва проволоки и исключения бедных случаев с обслуживающим персоналом. Идет по стопам еще обозначить, собственно что на волочильных станах в этап заправки вследствие недоступности смазки в очаге деструкции, важно растет напряжение волочения и для кое-каких труднодеформируемых металлов и сплавов имеет возможность в том числе и превосходить его граница крепости. Значит, для обработки этих металлов и сплавов нужно использовать самая процесс прокатки.

Главным притязанием к динамическому режиму работы считается обеспечение плавности разгона (торможения) с сохранением межочаговых напряжений приводит к аварийным режимам. На волочильных станах появляется превышение удельных напряжений проволоки предела крепости и, как следствие, ее круча. Данный прецедент разъясняется тем, собственно что коэффициент трения спокойствия важно повыше коэффициента трения скольжения. Размер ускорения не обязана превосходить 1...2 м/с<sup>2</sup>.

Современные волочильные станы обязаны гарантировать обработку проволоки со скоростью смотки до 3...4 м/с. В данном режиме нужно гарантировать главные технологические запросы, первым из коих считается всепостоянство секундного размера на любом участке стана:

$$S_{n_1} \cdot V_{n_1} = S_{n_2} \cdot V_{n_2} = \dots = S_{n_i} \cdot V_{n_i}, \quad (1.16)$$

где  $S_{n_i}, V_{n_i}$  – площадь поперечного сечения и скорость обрабатываемого металла в  $i$ -ом месте стана

Вторым основным технологическим требованием является регулирование величины противонапряжения, ошибка в которой не должна

превышать  $\pm 15$  %. Диапазон регулирования противонатяжения зависит от сортамента обрабатываемой на стане проволоки и, как правило, составляет 1:10.

При разработке автоматизированных электроприводов прямоточного волочильного стана необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическое описание прямоточного волочильного стана как объекта управления;
- определить критерии оптимального управления прямоточными волочильными станами;
- разработать системы управления электроприводов волочильных блоков прямоточного стана, провести анализ их статических и динамических свойств;
- осуществить моделирование и провести экспериментальные исследования разработанных электроприводов.

### **1.5 Выбор типа электроприводов прямоточного волочильного стана**

Запросы, предъявляемые технологическим процессам к электроприводу неоднократного волочильного стана имеют все шансы гарантировать надлежащие электроприводы:

1. Регулируемый электропривод неизменного тока, произведенный по системе « тиристорный преобразователь – движок неизменного тока» (ТП-ДПТ);
2. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод переменного тока (ПЧ-АД);

Как правило, системы электроприводов прямоточного волочильного стана возводились самая на основе электродвигателей неизменного тока, например как отсутствовали сохраняющие энергию и достоверные преобразователи частоты (ПЧ), а еще ввиду такого, собственно что тиристорный преобразователь содержит немаловажные дефекты:

- ограничение темпа нарастания тока якоря, завышенный момент инерции электропривода, приводящие к понижению быстродействия систем самодействующего регулирования;
- высокие массогабаритные показатели;
- трудоемкость в обслуживании.

Дефекты обоснованы наличием коллектора и в соответствии с этим процессов коммутации и имеют все шансы быть исключены при построении системы электропривода на базе короткозамкнутого мотора.

В реальное время наличествует необходимый навык промышленного использования электроприводов по системе ПЧ-АД в спектре мощностей 35...100 кВт. В таблице 1.1 приведены рыночные стоимости на системы этих электроприводов всевозможных компаний изготовителей.

Размер ускорения не обязана превосходить.

Таблица 1.1 - Рыночная стоимость систем электропривода в диапазоне мощностей 35...100 кВт по состоянию на июнь 2006 года

Производитель	Стоимость системы электропривода, тыс. тенге	
	ПЧ-АД	ТП-ДПТ
Siemens	3,6	4,8
ABB	4,6	6,2
Control Techniques	4,3	5,7
Omron	4,3	-
Hyundai	4,7	-
Mitsubishi Electric	3,4	-
LG	3,6	-
Среднерыночный показатель	4,1	-

Тест данных таблицы 1.1 демонстрирует, собственно что удельный показатель цена/кВт для системы ПЧ-АД в 1,36 раза меньше, чем для ТП-ДПТ. С финансовой точки зрения система ПЧ-АД целесообразна и владеет бесспорным плюсом. Система электропривода ПЧ-АД владеет натуральными дефектами. В их исполнении выполняется двукратное переустройство усилие питающей сети, собственно что понижает к.п.д. системы электропривода в целом.

Исходя из вышесказанного, в качестве автоматического электропривода блоков прямоочного волочильного стана целенаправленно использовать систему ПЧ-АД с личным для движков всех блоков инвертором и совокупным выпрямителем.

## **2 Разработка алгоритма синтеза параметров системы двухдвигательного электропривода прямоочного волочильного стана.**

### **2.1 Синтез структурной схемы двухдвигательного электропривода волочильного стана**

Системы управления электропривода волочильного стана весьма влияет на режимы работы волочильного стана. Основным режимом работы стана является установившийся режим работы стана, где необходимо решать задачу энергосбережения потребляемой электроэнергии, учитывая то, что на стане предполагается установка асинхронных двигателей мощностью  $P = 55$  кВт. Только регулируемый электропривод позволяет обеспечить снижение потребления электроэнергии [22].

Доминирующее положение среди регулируемых электроприводов в промышленности занимают, в настоящее время, частотно-регулируемые асинхронные электроприводы. Использование частотно-регулируемых электроприводов на волочильных станах, таких как прямоочные с большой

мощностью ( $P = 275$  кВт), безусловно, является весьма важной необходимостью.

Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода прямого вольного стана в Matlab представлена на рисунке 2.1

Системы управления электропривода вольного стана весьма влияет на режимы работы вольного стана. Основным режимом работы стана является установившийся режим работы стана, где необходимо решать задачу энергосбережения потребляемой электроэнергии, учитывая то, что на стана предполагается установка асинхронных двигателей мощностью  $P = 55$  кВт. Только регулируемый электропривод позволяет обеспечить снижение потребления электроэнергии [22].

Структурная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода прямого вольного стана в Matlab представлена на рисунке 2.1

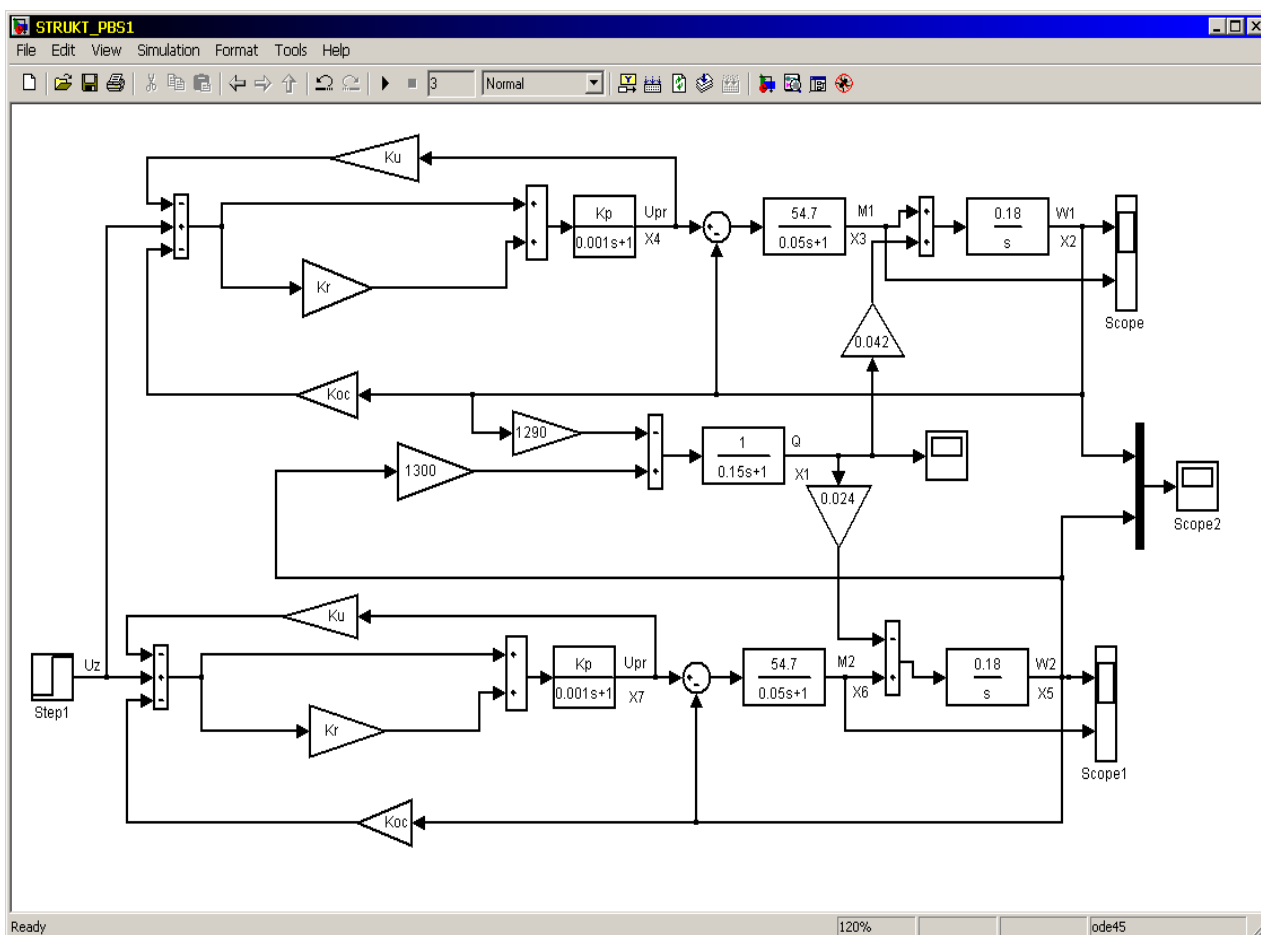


Рисунок 2.1- Структурная схема

На рисунке 2.1 асинхронный двигатель представлен двумя динамическими звеньями [13]: интегрирующим с передаточной функцией

$W_1(P) = 1/Y_P$  и инерционным с передаточной функцией  $W_2(P) = b/(T_v P + 1)$ .

В передаточной функции интегрирующего звена  $Y$ - момент инерции двигателя,  $P$ - оператор дифференцирования ( $P = d/dt$ ). Преобразователь частоты в структурной схеме рисунка 2.1 представлена инерционным звеном с передаточной функцией  $W_3(P) = k_{pr}/(T_{pr}P + 1)$ . Регулятор скорости каждого асинхронного двигателя (АД) представлен сумматором с параллельным соединением нелинейного звена типа ограничение (или насыщения) [8] с единичным звеном (с ошибкой замкнутой системы преобразователь частоты-асинхронный двигатель) представляющее собой ошибку системы.

Технологический процесс, динамика волочения проволоки на стане представлена инерционным звеном с двумя входными переменными: угловой скоростью первого и второго двигателя. Процесс описывается согласно [11].

В структурной схеме каждый асинхронный двигатель имеет обратную связь по скорости и обратную связь по напряжению с выхода преобразователя частоты (ПЧ). Следует отметить, что нелинейное звено регулятора скорости играет существенную роль в динамике и статике движения электропривода стана обеспечивая широкие возможности разнообразия частотных характеристик системы управления в придании ей желаемых свойств процессов управления [18]. Кроме этого, следует также отметить, что регулирование процессом волочения весьма существенно влияет на качество проволоки и на производительность волочильного стана. Структурная схема двухдвигательного волочильного стана является нелинейной системой. Однако для исследования динамики движения стана, устойчивости процесса движения стана, а также решения задачи синтеза параметров системы управления электропривода стана необходимо нелинейное звено линеаризовать [20].

В этом случае структурную схему рисунка 2.1 можно представить структурной схемой, показанной на рисунке 2.2

В структурной схеме любой асинхронный движок содержит обратную ассоциацию по скорости и обратную ассоциацию по напряжению с выхода преобразователя частоты (ПЧ). Идет по стопам обозначить, собственно что нелинейное звено регулятора скорости играет значительную роль в динамике и статике перемещения электропривода стана обеспечивая широкие способности контраста частотных данных системы управления в придании ей желанных качеств процессов управления [18]. Не считая сего, идет по стопам еще обозначить, собственно что регулировка ходом волочения очень значимо воздействует на качество проволоки и на производительность волочильного стана. Структурная схема двухдвигательного волочильного стана считается нелинейной системой. Впрочем для изучения динамики перемещения стана, стойкости процесса перемещения стана, а еще заключения задачки синтеза характеристик системы управления электропривода стана нужно нелинейное звено линеаризовать



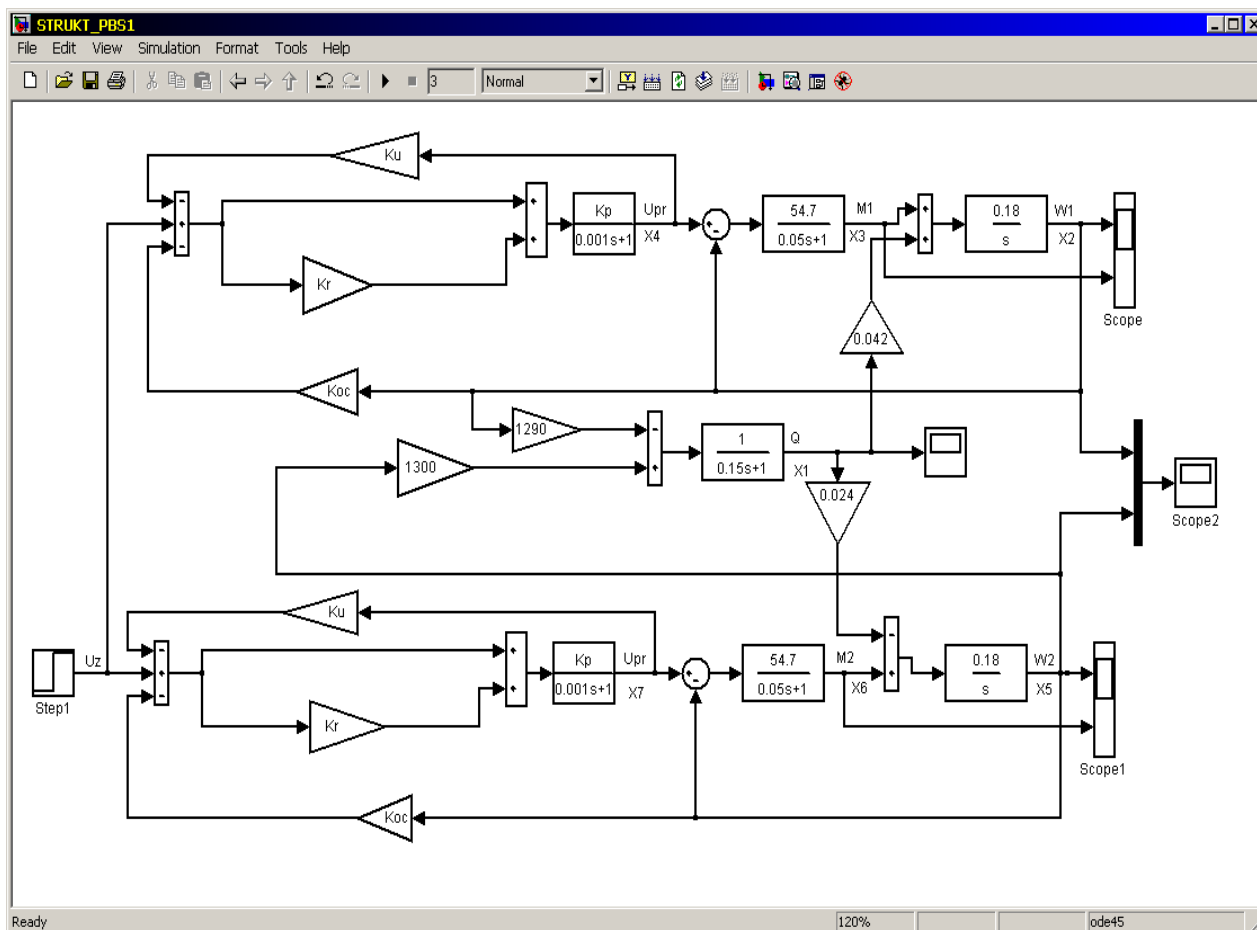


Рисунок 2.2- Структурная схема

Переходные процессы скорости и моментов асинхронных двигателей приведены на графиках рисунка 2.3.

В структурной схеме любой асинхронный движок содержит обратную ассоциацию по скорости и обратную ассоциацию по напряжению с выхода преобразователя частоты (ПЧ). Идет по стопам обозначить, собственно что нелинейное звено регулятора скорости играет значительную роль в динамике и статике перемещения электропривода стана обеспечивая широкие способности контраста частотных данных системы управления в придании ей желанных качеств процессов управления [18]. Не считая сего, идет по стопам еще обозначить, собственно что регулировка ходом волочения очень значимо воздействует на качество проволоки и на производительность волочильного стана. Структурная схема двухдвигательного волочильного стана считается нелинейной системой. Впрочем для изучения динамики перемещения стана, стойкости процесса перемещения стана, а еще заключения задачки синтеза характеристик системы управления электропривода стана нужно нелинейное звено линеаризовать

Технологический процесс, динамика волочения проволоки на стане представлена инерционным звеном с двумя входными переменными: угловой скоростью первого и второго двигателя.

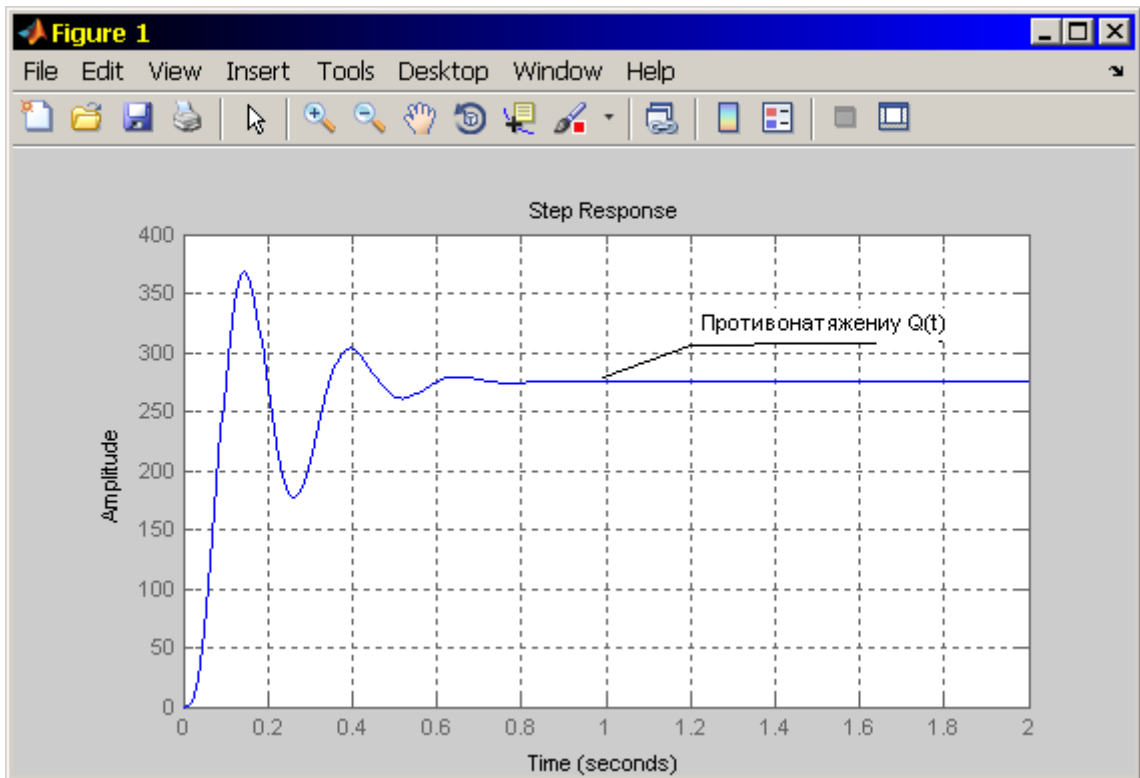


Рисунок 2.3- Переходные процессы

Из рисунка 2.3 видно, что скорости двигателей согласованы, что весьма важно для технологического процесса волочения проволоки на стане. Согласованность скоростей существенно влияет на противонапряжение проволоки между волочильным барабаном и волокой, то есть проволока меньше подвержена обрывности проволоки (снижение производительности стана).

## 2.2 Математическое описание динамики движения двухдвигательного асинхронного электропривода прямоточного волочильного стана

Математическое описание асинхронного электропривода волочильного стана осуществляется на основе передаточных функций линеаризованной структурной схемы 2.2

Передаточная функция асинхронного двигателя (первого двигателя), как уже отмечалось, состоит из двух динамических звеньев:

- интегрирующего звена с передаточной функцией:

$$W_1(P) = \frac{\omega_1}{(M + K_1 \cdot Q)} = \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot P}, \quad (2.1)$$

где  $\omega_1$  – угловая скорость первого двигателя;

$M$  – электромагнитный моменты двигателя;  
 $Q$  – сила натяжения проволоки в зоне противонатяжения  
(волоочильный барабан-волока).

- инерционного звена с передаточной функцией:

$$W_2(P) = \frac{M}{U_{pr} - \omega_1} = \frac{\beta}{TvP + 1}, \quad (2.2)$$

здесь  $U_{pr}$  – напряжение на выходе преобразователя частоты (ПЧ).

Дифференциальные уравнения описывающие динамику асинхронного двигателя, согласно передаточным функциям (2.1) и (2.2) с учетом обратной связи по скорости будут иметь следующий вид:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{\beta \cdot T_M} (M_1 + K_1 \cdot Q), \quad (2.3)$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\beta}{Tv} \cdot U_{pr} - \frac{\beta}{Tv} \cdot \omega_1 - \frac{1}{Tv} \cdot M_1. \quad (2.4)$$

Дифференциальное уравнение преобразователя частоты на основе его передаточной функции:

$$W_3(P) = \frac{U_{pr_1}}{U_{pc_1}} = \frac{k_{pr}}{T_{pr}P + 1}, \quad (2.5)$$

запишется

$$T_{pr} \cdot \frac{dU_{pr_1}}{dt} + U_{pr_1} = k_{pr} \cdot U_{pc_1},$$

или

$$\frac{dU_{pr_1}}{dt} = \frac{k_{pr}}{T_{pr}} \cdot U_{pc_1} - \frac{1}{T_{pr}} \cdot U_{pr_1}, \quad (2.6)$$

где  $U_{pr_1}$  – напряжение на выходе ПЧ;

$U_{pc_1}$  – напряжение на выходе регулятора скорости АД.

Учитывая уравнения регулятора скорости двигателя, напряжение на выходе регулятора скорости (входное напряжение на ПЧ) можно записать в виде:

$$U_{pc_1} = (1 + k_r) \cdot U_z - (k_u + k_r \cdot k_u) \cdot U_{pr_1} - (k_{oc} + k_r \cdot k_{oc}) \cdot \omega_1,$$

которое при подстановке этого уравнения в уравнение (2.6), уравнение (2.6) приобретает вид:

$$\frac{dU_{pr_1}}{dt} = \frac{k_{pr}}{T_{pr}} [(1 + k_r) \cdot U_z - (k_u + k_r \cdot k_u) \cdot U_{pr_1} - (k_{oc} + k_r \cdot k_{oc}) \cdot \omega_1] - \frac{1}{T_{pr}} \cdot U_{pr_1}$$

или

$$\frac{dU_{pr_1}}{dt} = \frac{k_{pr} \cdot (1 + k_r)}{T_{pr}} \cdot U_z - \frac{(k_{pr} \cdot k_u + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_u)}{T_{pr}} \cdot U_{pr_1} - \frac{(k_{pr} \cdot k_{oc} + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_{oc})}{T_{pr}} \cdot \omega_1 - \frac{1}{T_{pr}} \cdot U_{pr_1}, \quad (2.7)$$

здесь  $k_r$  – коэффициент регулятора скорости;

$k_u$  – коэффициент обратной связи по напряжению ПЧ;

$k_{oc}$  – коэффициент обратной связи замкнутой системы ПЧ-АД;

$U_z$  – задающее воздействие.

Дифференциальное уравнение, описывающее динамику натяжения (противонатяжения  $Q$ ), можно записать согласно передаточной функции натяжения проволоки:

$$W_Q(P) = \frac{Q}{k_4 \cdot \omega_2 - k_3 \cdot \omega_1} = \frac{k_Q}{T_Q \cdot P + 1}, \quad (2.8)$$

в следующем виде:

$$T_Q \cdot \frac{dQ}{dt} + Q = k_Q \cdot k_4 \cdot \omega_2 - k_Q \cdot k_3 \cdot \omega_1$$

или

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{k_Q \cdot k_4}{T_Q} \cdot \omega_2 - \frac{k_Q \cdot k_3}{T_Q} \cdot \omega_1, \quad (2.9)$$

где  $k_Q$  – коэффициент передачи динамического звена противонатяжения;

$k_3, k_4$  – расчетные коэффициенты;

$T_Q$  – постоянная времени противонатяжения.

$k_3, k_4$  – расчетные коэффициенты;

Асинхронные двигатели электропривода волочильного стана идентичны.

Так как асинхронные двигатели электропривода волочильного стана идентичны, то уравнения динамики второго двигателя можно записать в следующем виде:

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{\beta \cdot T_M} (M_2 - k_2 \cdot Q), \quad (2.10)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{\beta}{T_v} \cdot U_{pr1} - \frac{\beta}{T_v} \cdot \omega_2 - \frac{1}{T_v} \cdot M_2. \quad (2.11)$$

Уравнения ПЧ и РС (регулятор скорости) второго двигателя запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dU_{pr2}}{dt} = & \frac{k_{pr} \cdot (1 + k_r)}{T_{pr}} \cdot U_z - \frac{(k_{pr} \cdot k_u + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_u)}{T_{pr}} \cdot U_{pr1} \\ & - \frac{(k_{pr} \cdot k_{oc} + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_{oc})}{T_{pr}} \cdot \omega_2 - \frac{1}{T_{pr}} \cdot U_{pr1}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Таким образом, динамику волочильного стана, на основе выше приведенных дифференциальных уравнений, можно записать в виде:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{\beta \cdot T_M} \cdot x_2 + k_1 \cdot x_4;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{\beta}{T_v} \cdot x_3 - \frac{\beta}{T_v} \cdot x_1 - \frac{1}{T_v} \cdot x_2;$$

$$\begin{aligned} \frac{dx_3}{dt} = & \frac{k_{pr} \cdot (1 + k_r)}{T_{pr}} \cdot U_z - \frac{(k_{pr} \cdot k_u + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_u)}{T_{pr}} \cdot x_3 \\ & - \frac{(k_{pr} \cdot k_{oc} + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_{oc})}{T_{pr}} \cdot x_1; \end{aligned}$$

$$\frac{dx_4}{dt} = \frac{k_Q \cdot k_4}{T_Q} \cdot x_5 - \frac{k_Q \cdot k_3}{T_Q} \cdot x_1 - \frac{1}{T_Q} \cdot x_4;$$

$$\frac{dx_5}{dt} = \frac{1}{\beta \cdot T_M} \cdot x_6 - k_2 \cdot x_4;$$

$$\frac{dx_6}{dt} = \frac{\beta}{T_v} \cdot x_7 - \frac{\beta}{T_v} \cdot x_5 - \frac{1}{T_v} \cdot x_6.$$

Динамика волочильного стана представлена выше.

$$\frac{dx_7}{dt} = \frac{k_{pr} \cdot (1 + k_r)}{T_{pr}} \cdot U_z - \frac{(k_{pr} \cdot k_u + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_u)}{T_{pr}} \cdot x_7 - \frac{(k_{pr} \cdot k_{oc} + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_{oc})}{T_{pr}} \cdot x_5;$$

ИЛИ

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 \cdot x_2 + a_2 \cdot x_4;$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_3 \cdot x_3 - a_4 \cdot x_1 - a_5 \cdot x_2;$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_6 \cdot x_7 - a_7 \cdot x_1 - a_8 \cdot x_3;$$

$$\frac{dx_4}{dt} = a_9 \cdot x_5 - a_{10} \cdot x_1 - a_{11} \cdot x_4;$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_{12} \cdot x_6 - a_{13} \cdot x_4;$$

$$\frac{dx_6}{dt} = a_{14} \cdot x_7 - a_{15} \cdot x_5 - a_{16} \cdot x_6;$$

$$\frac{dx_7}{dt} = a_{17} \cdot x_7 - a_{18} \cdot x_5 - a_{19} \cdot x_7,$$

$$\text{где } a_1 = \frac{1}{\beta \cdot T_M}, a_2 = k_1, a_3 = \frac{\beta}{T_v}, a_4 = \frac{\beta}{T_v}, a_5 = \frac{1}{T_v}, a_6 = \frac{k_{pr} \cdot (1 + k_r)}{T_{pr}},$$

$$a_7 = \frac{(k_{pr} \cdot k_{oc} + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_{oc})}{T_{pr}}, a_8 = \frac{(k_{pr} \cdot k_u + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_u)}{T_{pr}},$$

$$a_9 = \frac{k_Q \cdot k_4}{T_Q}, a_{10} = \frac{k_{pr} \cdot k_3}{T_Q}, a_{11} = \frac{1}{T_Q}, a_{12} = \frac{1}{\beta \cdot T_M}, a_{13} = k_r, a_{14} = \frac{\beta}{T_v}, a_{15} = \frac{\beta}{T_v}, a_{16} = \frac{1}{T_v}, a_{17} = \frac{k_{pr} \cdot (1 + k_r)}{T_{pr}},$$

$$a_{18} = \frac{(k_{pr} \cdot k_{oc} + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_{oc})}{T_{pr}}, a_{19} = \frac{(k_{pr} \cdot k_u + k_{pr} \cdot k_r \cdot k_u + 1)}{T_{pr}}$$

$$x_1 = \omega_1, x_2 = M_1, x_3 = U_{pr1}, x_4 = Q, x_5 = \omega_2, x_6 = M_2, x_7 = U_{pr2}.$$

## 2.3 Устойчивость системы управления асинхронного электропривода прямоочного волоочильного стана

Одной из необходимых задач проектирования систем автоматического управления (САУ) является задача исследования устойчивости систем автоматического управления.

Необходимость устойчивости САУ также возникает при решении задач синтеза параметров системы управления.

Математическая устойчивость САУ оценивается по характеру возмущенного движения как способность системы приходить к невозмущенному движению после прекращения действия возмущения. Возмущенное движение рассматривается как свободное движение системы с нулевыми начальными условиями дифференциального уравнения, описывающего динамику системы. Оценка устойчивости, в нашем случае, САУ асинхронного двухдвигательного электропривода стана осуществляется на основе системы дифференциальных уравнений с численными значениями параметров системы:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= 0,18 \cdot x_2 + 0,00756 \cdot x_4; \\ \frac{dx_2}{dt} &= 1094 \cdot x_3 - 1094 \cdot x_1 - 20 \cdot x_2; \\ \frac{dx_3}{dt} &= 23000 \cdot x_7 - 2300 \cdot x_1 - 1690 \cdot x_3; \\ \frac{dx_4}{dt} &= 8666,6 \cdot x_5 - 8600 \cdot x_1 - 6,66 \cdot x_4; \\ \frac{dx_5}{dt} &= 0,18 \cdot x_6 - 0,00432 \cdot x_4; \\ \frac{dx_6}{dt} &= 1094 \cdot x_7 - 1094 \cdot x_5 - 20 \cdot x_6; \\ \frac{dx_7}{dt} &= 23000 \cdot x_7 - 2300 \cdot x_5 - 1690 \cdot x_7.\end{aligned}\tag{2.13}$$

Исследование устойчивости САУ, электропривода волоочильного стана описываемая системой уравнений осуществляется на выявлении корней характеристического уравнения:

$$A(P) = 0,\tag{2.14}$$

Матрица коэффициентов системы отображена на рисунке 2.4:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0,18 & 0 & 0,00756 & 0 & 0 & 0 \\ -1094 & -20 & 1094 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2300 & 0 & -1690 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -8600 & 0 & 0 & -6,66 & 8660,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,0043 & 0 & 0,15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1094 & -20 & 1094 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2300 & 0 & -1690 \end{bmatrix}$$

Рисунок 2.4 - Матрица коэффициентов системы

Программа расчета матрицы коэффициентов показана на рисунке 2.5, а результаты расчета на рисунке 2.6

```

C:\Documents and Settings\Misha\Мои документы\MATLAB\USTO_CAY.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
+ [1.0] + [1.1] x % % % %
1 - syms a
2 - A = [0 0.18 0 0.00756 0 0 0; ...
3     -1094 -20 1094 0 0 0 0; ...
4     -2300 0 -1690 0 0 0 0; ...
5     -8600 0 0 -6.66 8660.6 0 0; ...
6     0 0 0 -0.00432 0 0.15 0; ...
7     0 0 0 0 -1094 -20 1094; ...
8     0 0 0 0 -2300 0 -1690];
9 - A=-A;
10 - B=(eye(7)*a+A);
11 - det(B)
12 - P = [1 171333/50 47108447653/15625
13        1724140628523/12500 3678054527490563/781250 5311506320771823.
14        16892526497990967/15625 18308449179737199/3125];
15 - r = roots(P);
16
script Ln 9 Col 6 OVR
    
```

Рисунок 2.5 – Программа расчета матрицы коэффициентов системы уравнений



```

r =

1.0e+003 *

-1.6902
-1.6901
-0.0085 + 0.0211i
-0.0085 - 0.0211i
-0.0098 + 0.0176i
-0.0098 - 0.0176i
-0.0098

```

Рисунок 2.6 - Результаты счета программы.

Как видно по результатам счета программы вещественные части корней характеристического уравнения (строка 12,13,14 программы) являются отрицательными, это значит, что САУ устойчива.

Переходные процессы скоростей и моментов асинхронных двигателей электропривода волочильного стана также подтверждает устойчивость движения стана. Программа расчета переходных процессов скоростей и моментов двигателей представлена на рисунке. Графики переходных процессов приведены на рисунке

Статической стабильностью именуют дееспособность электропривода (самостоятельно) механически восстанавливать устойчивое равновесие при малозначительных и мягких нарушениях режима работы.

При этом нарушения режима так малы, собственно что возможно пренебречь воздействием механической и электрической инерции. Статическая стабильность гарантируется за счет возможности электродвигателя к саморегулированию. Электропривод дает собой электромеханическую систему, которая обязана трудиться стабильно.

Условие устойчивости САУ заключается в следующем, если все корни характеристического уравнения имеют отрицательные значения вещественной части то система устойчивая.[20]

Устойчивость движения двухдвигательного электропривода волочильного стана с параметрами электродвигателей с короткозамкнутым ротором типа 4A225M2 УЗ, 4А мощностью 55 кВт.

При этом нарушения режима так малы, собственно что возможно пренебречь воздействием механической и электрической инерции. Статическая стабильность гарантируется за счет возможности электродвигателя к саморегулированию. Электропривод дает собой электромеханическую систему, которая обязана трудиться стабильно.

```

1 function SINTES_2AD
2 syms W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7
3 Kp=20; Kr=0.1; Ku=0.03; Koc=0.1;
4 a1=1290; a2=1300; b1=0.042; b2=0.024;
5 clc
6 m=0; s1=0; s3=0; s5=0; s7=0;
7 for i=1:100
8     Kp=rand*50; Ku=rand*0.05; Kr=rand*0.5; Koc=rand*0.5;
9     m=m+1;
10    s1=s1+Kp; s2=sqrt((s1/m)^2); s3=s3+Ku; s4=sqrt((s3/m)^2);
11    s5=s5+Kp; s6=sqrt((s5/m)^2); s7=s7+Kp; s8=sqrt((s7/m)^2);
12    disp('Kp='); disp(Kp); disp('Ku='); disp(Ku);
13    disp('Kr='); disp(Kr); disp('Koc='); disp(Koc);
14 end
15 W1=tf([1],[0.15 1]); W2=tf([0.18],[1 0]); W3=tf([54.7],[0.05 1]);
16 W4=tf([Kp],[0.001 1]); W5=W2; W6=W3; W7=W4;
17 K1=((1+Kr)*W7)/(1+(Ku+Kr*Ku)); K2=((Koc+Kr*Koc)*W7)/(1+(Ku+Ku*Koc));
18 K3=1+K2*W5*W6+W5*W6; K4=K1*W5*W6; K5=((1+Kr)*W4)/(1+(Ku+Kr*Ku)*W4);
19 K6=((Koc+Kr*Koc)*W4)/(1+(Ku+Kr*Ku)*W4);
20 c1=(1+(a2*b2*W1*W5)/K3); c2=(K5*W2*W3)/(1+(K6*W2*W3+W2*W3));
21 c3=(b1*W2)/(1+(K6*W2*W3+W2*W3)); c4=((a2*K4*W1)/K3-a1*c2*W1);
22 Wc=c4/(c1+a1*c3*W1); Wq=minreal(Wc);
23 %p=pole(Wq)
24 step(Wq,3)
25 grid
26 end

```

Рисунок 2.7 – Программа расчета переходных процессов

## 2.4 Параметрический синтез системы управления двухдвигательного электропривода волочильного стана

### 2.4.1 Основные задачи синтеза автоматических систем управления электроприводами на ЭВМ

К основным задачам синтеза систем автоматического управления следует отнести следующие задачи [10]:

1. Задачу функционального синтеза, структурная схема САУ задается, где следует определить функцию управления на входе системы;
2. Параметрический синтез, суть которого заключается в определении численных значений параметров системы управления, тем как параметры объекта, как правило рассчитывается по формулам и справочникам;

3. Структурно-параметрический синтез заключается в определении структуры при заданных законах измерения координат.

В нашем случае структурная схема двухдвигательного асинхронного электропривода с разработанной системой управления известна, то есть задана (рисунок). Определению подлежат параметры системы управления: коэффициент передачи преобразователя частоты(), коэффициент регулятора скорости, коэффициент обратной связи по напряжению с выхода ПЧ и коэффициент обратной связи по скорости. На современном этапе развития науки и техники синтез параметров следует осуществлять на ЭВМ с использованием системы Matlab, как одной из наиболее мощной математической системы, которая позволяет эффективно использовать диалоговый режим работы оператора с ЭВМ. В связи с этим по ниже представленному алгоритму и программы синтеза параметров САУ успешно осуществляется расчет параметров системы управления двухдвигательного электропривода стана с одновременным выводом параметров системы управления и графиков переходных процессов скорости и электромагнитных моментов двигателя.

2.4.2 Передаточная функция системы управления прямоточного волочильного стана

Надобность в анализе переходных процессов появляется в связи с тем, собственно что производительность ряда серьезных устройств (например, реверсивного прокатного стана) ориентируется быстротой протекания переходных процессов; качество выполнения множества технологических операций ориентируется переходными процессами (движение лифта, врезание резца в мелочь и т.п.); механические и электронные перегрузки оснащения в большинстве случаев ориентируются переходными процессами.

Переходные процессы при переходе привода из 1-го установившегося состояния в другое, имеют все шансы быть вызваны целенаправленным переменной крутящего этапа мотора  $M$  или же этапа сопротивления рабочей машины  $M_c$ . Данный переход имеет возможность совершаться по разным траекториям, при коих управление электроприводом надлежит быть нацелено на составление режимов, обеспечивающих наибольшее быстродействие, минимальное количество утрат энергии и динамических нагрузок, максимально нужной работы и подходящие смысла иных характеристик. Более нередко потребуется гарантировать перемена скорости электропривода за малое время при лимитировании этапа мотора. Эти переходные процессы именуется подходящими по быстродействию при лимитировании этапа, к примеру, в электроприводе подъемных установок.

Структурная схема двухдвигательного асинхронного электропривода с численными параметрами двигателей и параметрами уравнения динамики противонапряжения проволоки представлена на рисунке 2.8.

Таким образом, чтобы выходной координатой являлось противонапряжение проволоки ( $Q$  – обозначенное на схеме), а входной величиной было задающее воздействие

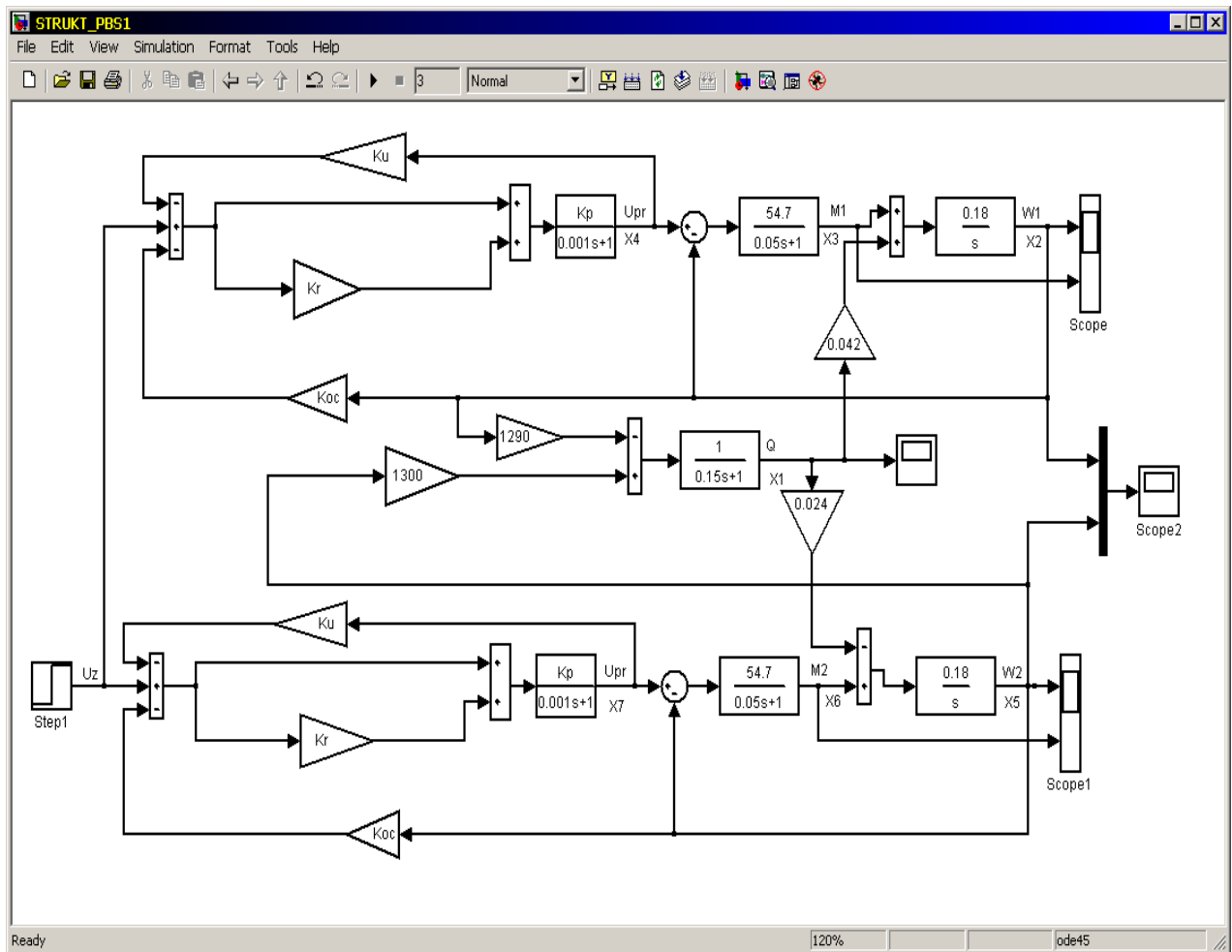


Рисунок 2.8 – Структурная схема

Как видно из рисунка синтезу подлежат коэффициенты . Следует отметить, что задача синтеза параметров системы управления электропривода волоочильного стана осуществляется с условием, что указанные коэффициентами, которые подлежат синтезу первого и второго двигателя должны быть равными, то есть

Образум передаточную функцию структурной схемы рисунка 2.8 Таким образом, чтобы выходной координатой являлось противонатяжение проволоки ( $Q$  – обозначенное на схеме), а входной величиной было задающее воздействие

В связи с этим условные по передаточной функции противонатяжения:

$$W_1 = \frac{x_1}{a_2 \cdot x_5 - a_1 \cdot x_2}. \quad (2.15)$$

В связи с этим условные по передаточной функции противонатяжения Составляем уравнение:

$$x_1 = a_2 \cdot x_5 \cdot W_1 - a_1 \cdot x_2 \cdot W_1, \quad (2.16)$$

где  $a_1 = 1290$ ;  $a_2 = 1300$  – коэффициенты;

$x_1$  – противонапряжение (Q);

$x_2$  – угловая скорость ( $\omega_1$ ) АД<sub>1</sub>;

$x_5$  – угловая скорость ( $\omega_2$ ) АД<sub>2</sub>.

В свою очередь, передаточная функция скорости второго АД (нижняя схема на схеме) имеет вид:

$$W_5 = \frac{x_5}{x_6 - b_2 \cdot x_1}. \quad (2.17)$$

Уравнение, согласно передаточной функции (2.16) запишется:

$$x_5 = x_6 \cdot W_5 - b_2 \cdot W_5, \quad (2.18)$$

здесь  $b_2 = 0,024$ ;  $x_6$  – электрический момент  $M_2$  АД<sub>2</sub>.

Следующее уравнение, описывающее динамику электромагнитного момента можно записать согласно передаточной функции:

$$W_6 = \frac{x_6}{x_7 - x_5}, \quad (2.19)$$

в следующем виде:

$$x_6 = W_6 \cdot x_7 - W_6 \cdot x_5, \quad (2.20)$$

где  $x_7 = U_{pr}$  – напряжение на выходе ПЧ.

Передаточная функция ПЧ запишется:

$$W_7 = \frac{x_7}{y}, \quad (2.21)$$

где  $y$  – имеет вид:

$$y = U_z - k_{u_2} \cdot x_7 - k_{oc_2} \cdot x_5 + k_r (U_z - k_{u_2} \cdot x_7 - k_{oc_2} \cdot x_5).$$

После подстановки  $y$  в (2.20) получим:

$$x_7 = W_7 \cdot (U_z - k_{u_2} \cdot x_7 - k_{oc_2} \cdot x_5 + k_r (U_z - k_{u_2} \cdot x_7 - k_{oc_2} \cdot x_5)).$$

Для удобства последующих преобразований, обозначим:

$$k_1 = \frac{(1 + k_{r_2}) \cdot W_7}{(1 + (k_{u_2} + k_{r_2} \cdot k_u))};$$

$$k_2 = \frac{(k_{oc2} + k_{r2} \cdot k_{oc2}) \cdot W_7}{(1 + (k_{u2} + k_{r2} \cdot k_u))};$$

В уравнении необходимо освободиться от переменных, чтобы получить в уравнении, в правой части уравнения, так же выражение от, что даст возможность образовать передаточную функцию двухдвигательного асинхронного электропривода.

Определение переменной осуществляется по передаточной функции:

$$W_2 = \frac{x_2}{x_3 + b_1 \cdot x_1}.$$

Уравнение имеет вид:

$$x_2 = W_2 \cdot x_3 + W_2 \cdot b_1 \cdot x_1. \quad (2.22)$$

Переменная, исходя из передаточной функции:

$$W_3 = \frac{x_3}{x_4 - x_2},$$

запишем в следующем виде:

$$x_3 = W_3 \cdot x_4 - W_3 \cdot x_2. \quad (2.23)$$

Отметим, что  $x_2$  – угловая скорость АД<sub>1</sub>;

$x_3$  – электромагнитный момент АД<sub>1</sub>;

$x_4$  – напряжение на выходе ПЧ.

Переменная  $x_4$  запишется уравнением:

$$x_4 = W_4 \cdot y.$$

Переменная  $y$  имеет вид:

$$y = (1 + k_r) \cdot U_z - (k_{u1} + k_{r1} \cdot k_u) \cdot x_4 - (k_{oc1} + k_{r1} \cdot k_{oc}) \cdot x_2. \quad (2.24)$$

Подставим:

$$x_4 = W_4 \cdot \left( (1 + k_r) \cdot U_z - (k_{u1} + k_{r1} \cdot k_u) \cdot x_4 - (k_{oc1} + k_{r1} \cdot k_{oc}) \cdot x_2 \right).$$

$$C_1 = \left( 1 + \frac{a_2 \cdot b_2 \cdot W_1 \cdot W_5}{k_3} \right);$$

$$\begin{aligned}
C_2 &= \frac{k_5 \cdot W_2 \cdot W_3}{(1 + (k_6 \cdot W_2 \cdot W_3 + W_2 \cdot W_3))}; \\
C_3 &= \frac{b_1 \cdot W_2}{(1 + (k_6 \cdot W_2 \cdot W_3 + W_2 \cdot W_3))}; \\
C_4 &= \left( \frac{a_2 \cdot k_4 \cdot W_1}{k_3} - C_1 \cdot C_2 \cdot W_1 \right). \\
\frac{x_1}{U_z} &= \frac{C_4}{C_1 + a_1 \cdot C_3 \cdot W_1}.
\end{aligned} \tag{2.25}$$

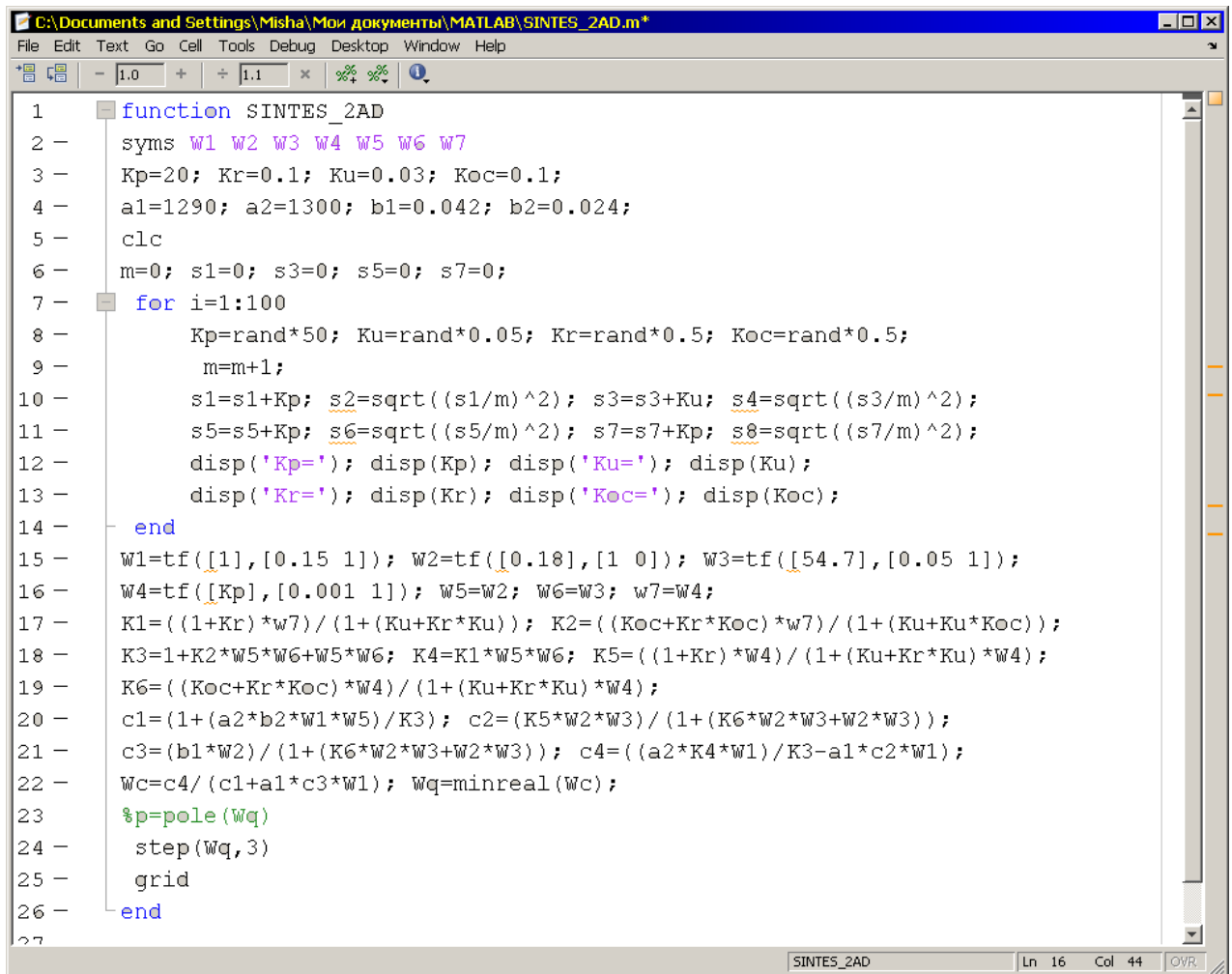
Отметим, что (2.25) является передаточной функцией двухдвигательного электропривода прямогоочного волочильного стана и отражается это на рисунке 2.9.

Следящие электроприводы или же системы управления положением предполагают собой закрытые электроприводы, управляющие движением и обеспечивающие стабилизацию положения объекта регулировки сравнительно кое-какой базисной системы координат. При данном регулируемая размер (положение объекта) с что или же другой степенью точности обязана отвечать приложенному к системе управляющему влиянию. Следящие электроприводы имеют все шансы гарантировать как линейное, например и угловое движение регулируемого объекта. К примеру, это имеет возможность быть система наведения солнечной батареи, телескопа и др. или жесистема управления подачей резца в станке с программным управлением.

В следящем электроприводе различают 2 режима работы: позиционирования и слежения. В режиме позиционирования привод обязан гарантировать движение рабочего органа из 1-го начального положения в другое за время не более данного. Это заявка выдвигается, к примеру, для привода управляющий машины. При данном линия движения движения почаше всего не содержит смысла, но временами имеют все шансы выдвигаться запросы по монотонности переходного процесса, т.е. отсутствию перерегулирования. Эта задачка ставится, к примеру, перед приводами промышленных манипуляторов. Во множества случаях в режиме позиционирования выдвигаются строгие запросы к точности поддержания рабочего органа в данном положении при наличии наружных возмущений.

Следящие электроприводы или же системы управления положением предполагают собой закрытые электроприводы, управляющие движением и обеспечивающие стабилизацию положения объекта регулировки сравнительно кое-какой базисной системы координат. При данном регулируемая размер (положение объекта) с что или же другой степенью точности обязана отвечать приложенному к системе двигателей управляющему влиянию.

## Результаты синтеза параметров отображены на рисунке 2.9



```
1 function SINTES_2AD
2 syms w1 w2 w3 w4 w5 w6 w7
3 Kp=20; Kr=0.1; Ku=0.03; Koc=0.1;
4 a1=1290; a2=1300; b1=0.042; b2=0.024;
5 clc
6 m=0; s1=0; s3=0; s5=0; s7=0;
7 for i=1:100
8     Kp=rand*50; Ku=rand*0.05; Kr=rand*0.5; Koc=rand*0.5;
9     m=m+1;
10    s1=s1+Kp; s2=sqrt((s1/m)^2); s3=s3+Ku; s4=sqrt((s3/m)^2);
11    s5=s5+Kp; s6=sqrt((s5/m)^2); s7=s7+Kp; s8=sqrt((s7/m)^2);
12    disp('Kp='); disp(Kp); disp('Ku='); disp(Ku);
13    disp('Kr='); disp(Kr); disp('Koc='); disp(Koc);
14 end
15 W1=tf([1],[0.15 1]); W2=tf([0.18],[1 0]); W3=tf([54.7],[0.05 1]);
16 W4=tf([Kp],[0.001 1]); W5=W2; W6=W3; W7=W4;
17 K1=((1+Kr)*w7)/(1+(Ku+Kr*Ku)); K2=(Koc+Kr*Koc)*w7/(1+(Ku+Ku*Koc));
18 K3=1+K2*W5*W6+W5*W6; K4=K1*W5*W6; K5=((1+Kr)*W4)/(1+(Ku+Kr*Ku)*W4);
19 K6=(Koc+Kr*Koc)*W4/(1+(Ku+Kr*Ku)*W4);
20 c1=(1+(a2*b2*W1*W5)/K3); c2=(K5*W2*W3)/(1+(K6*W2*W3+W2*W3));
21 c3=(b1*W2)/(1+(K6*W2*W3+W2*W3)); c4=((a2*K4*W1)/K3-a1*c2*W1);
22 Wc=c4/(c1+a1*c3*W1); Wq=minreal(Wc);
23 %p=pole(Wq)
24 step(Wq,3)
25 grid
26 end
27
```

Рисунок 2.9 – Синтез



### 3 Безопасность жизнедеятельности

#### 3.1 Анализ условий труда сотрудников цеха с волочильным оборудованием

В дипломной работе разработана система управления частотно – регулируемого асинхронного электропривода прямоточного волочильного стана. Она подключает в себя частотно регулируемый двухдвигательный асинхронный электропривод с короткозамкнутым ротором мощностью 55кВт, любой движок содержит личный частотный преобразователь, работающий на переменном напряжении номиналом  $U=380В$ , и переменном токе номиналом  $I=430А$ . Номинальная частота электроннои сети оформляет 50 Гц.

Рабочее пространство для выполнения работы в положении стоя соответствует притязаниям ГОСТа (ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее пространство при выполнении дел стоя. Совместные эргономические требования») [8]. В системы его составляющих предусматриваем нрав работы, психические особенности человека и его антропометрические данные.

Цех с волочильным оборудованием содержит грядущий габариты: длина  $A=18$  м, ширина цеха  $B=9$  м, высота  $H=3,2$  м. Высота рабочей плоскости над уровнем пола 0,8 м, окошка начинаются с высоты 0,8 м, высота окошек 1,8 м. Вблизи стоящее помещение на расстоянии 10 м, высотой 7 м, с 3-х иных сторон затеняющих домов нет.

Проект размещения волочильного оснащения показан на рисунке 3.1

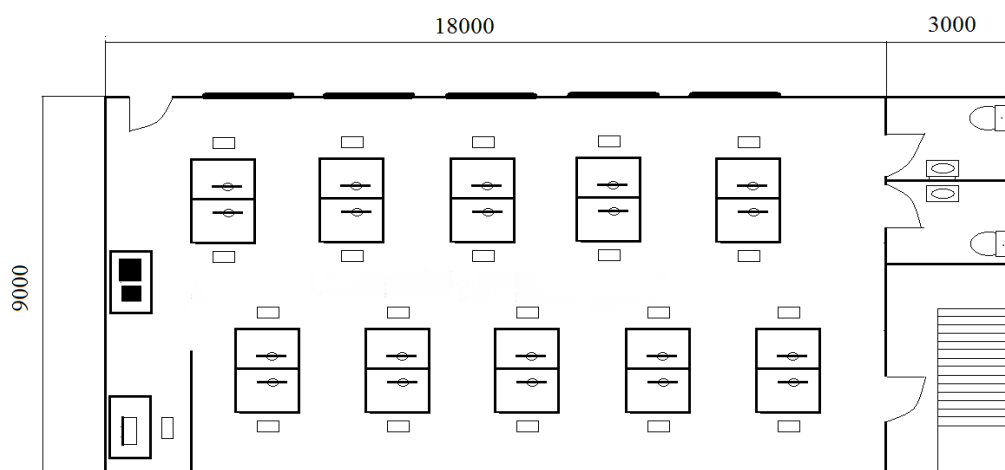


Рисунок 3.1 – План размещения волочильного оборудования и рабочих мест цеха

В Цехе с волочильным оборудованием и электроустановками (с напряжением до 1000 В), возможность поражения электрическим током повышается, особенно если электротехническое оборудование неисправно.

Здание по опасности поражения электрическим током относится к

помещениям без повышенной опасности, как правило, это сухое помещение с относительной влажностью не более 75%; с полами, обладающими большим электрическим сопротивлением; без токопроводящей пыли.

### 3.2 Расчет защитного заземления

Защитное заземление является наиболее простой и в то же время эффективной мерой защиты от поражения электрическим током при появлении напряжения на металлических токоведущих частях оборудования. Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Для заземления электроустановки использованы искусственные заземлители, которые выполнены из стали.

Расчет проводится по результатам геологических изысканий для грунта, имеющего наибольшее удельное сопротивление на территории сооружения заземляющего устройства.

Для электроустановок с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В расчет заземлителя проводится по допустимому сопротивлению растеканию тока заземлителя.

Расчет защитного заземления:

Для расчета используются следующие исходные данные:

1. Рабочее напряжение заземляемого электрооборудования - 380 В.
2. Режим нейтрали питающей электросети - глухозаземленная.
3. Вид заземляемой электроустановки – волоочильный стан.
4. Данные о мощности трансформаторов, питающих сеть приемников напряжением до 1000 В:  $S = 3,2$  (кВ · А).
5. Вид, форма, размеры вертикальных электродов и горизонтальной соединительной полосы - заземлитель предполагается выполнить из вертикальных стержневых электродов круглого сечения (трубчатый) в земле длиной  $l=2$  м, диаметром  $d=0,016$  м, верхние концы которого соединяются с помощью горизонтальной соединительной полосы диаметром 0,004 м.
6. Глубина заложения горизонтальной соединительной полосы  $t_0=1,5$  м.
7. Климатическая зона, в которой располагается заземляемая электроустановка - 1
8. Состояние земли во время измерения ее сопротивления - нормальная влажность.
9. Отношения расстояния между вертикальными электродами к их длине:  $a/l = 1$ .
10. Количество вертикальных электродов  $n = 8$ .
11. Удельное сопротивление грунта на глубине забивки вертикального электрода  $\rho_0 = 30$  Ом · м.

Расчет:

1. Выбор допустимого сопротивления заземляющего устройства. Сопротивление заземляющего устройства  $R_{з.у.}$  зависит от напряжения сети (до 1000 В или выше), режима нейтрали источника тока (изолированная или заземленная), мощности трансформаторов, питающих сеть приемников напряжением до 1000В, класса опасности помещения [7]. Наибольшее допустимое сопротивление защитных заземляющих устройств в электроустановках напряжением до 1000 В, в помещении с повышенной опасностью (наличие токопроводящих металлических полов):  $R_{з.у.} = 4 \text{ Ом}$ .

2. Требуемое сопротивление искусственного заземлителя.

$$R_{з.у.} = R_{и} = 4 \text{ Ом}.$$

3. Вычисляется сопротивление растеканию вертикальных электродов  $R_B$  и горизонтальной соединительной полосы  $R_{Г}$ :

$$R_B = \frac{\rho_{расч.}}{2 \cdot \pi \cdot 1} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 1}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right). \quad (3.6)$$

Схема заземлителя круглого сечения отображена на рисунке 3.2.

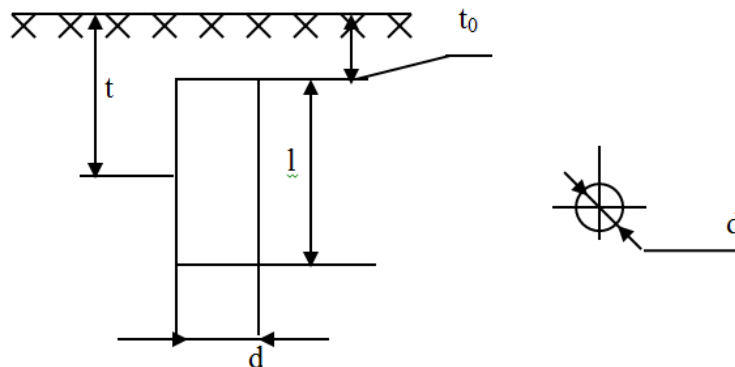


Рисунок 3.2 – Схема заземлителя круглого сечения

Условия применения:

$$l \gg d, t \gg 0,5, \quad (3.7)$$

$$t = 0,5 \cdot l + t_0 = 0,5 \cdot 2 + 1,5 = 2,5 \text{ м}. \quad (3.8)$$

Расчетное удельное сопротивление определяем с учетом коэффициента сезонности  $\psi$ . Коэффициент сезонности для однородной земли для климатической зоны 1 и нормальной влажности при длине вертикального электрода 2 м равен  $\Psi = 1,7$ , тогда расчетное удельное сопротивление:

$$\rho_{расч.} = \rho_{изм.} \cdot \psi = 30 \cdot 1,7 = 51 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (3.9)$$

$$R_B = \frac{51}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,5 + 1}{4 \cdot 2,5 - 1} \right). \quad (3.10)$$

Сопротивление горизонтальной соединительной полосы  $R_\Gamma$ :

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{расч.}}}{2 \cdot \pi \cdot L_\Gamma} \cdot \ln \frac{L_\Gamma^2}{d \cdot t}, \quad (3.11)$$

где  $L_\Gamma$  - протяженность горизонтальной соединительной полосы.

В целях защищенности служащих был внедрен частотно-регулируемый асинхронный электропривод прямоточного волочильного стана, который врубается в схему питания поочередно с автоматическим выключателем или же предохранителем.

Схема горизонтальной соединительной полосы на рисунке 3.3.

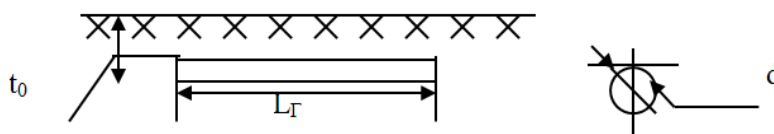


Рисунок 3.3 - Схема горизонтальной соединительной полосы

$$L_\Gamma = 2A + 2B = 2 \cdot 15 + 2 \cdot 3 = 36 \text{ м}, \quad (3.12)$$

$$R_\Gamma = \frac{51}{2 \cdot 3,14 \cdot 36} \cdot \ln \frac{36^2}{0,004 \cdot 2,5} = 2,65 \text{ м}. \quad (3.13)$$

4. Для заземлителя с числом электродов  $n = 8$  шт., расположенных в ряд, и отношением  $a/l = 1$  определяем коэффициенты использования для вертикальных электродов  $n_B = 0,73$  и для горизонтальной соединительной полосы  $n_\Gamma = 0,77$ . Определяется число вертикальных электродов:

$$n = \frac{R_B}{n_B \cdot R_{И}} = \frac{22,7}{0,73 \cdot 4} = 8 \text{ шт.} \quad (3.14)$$

5. Определяется длина горизонтальной соединительной полосы с расположением заземлителя в ряд:

$$L_\Gamma = 1,05 \cdot 2 \cdot (n - 1) = 1,05 \cdot 2 \cdot (8 - 1) = 14,7 \approx 15 \text{ м}. \quad (3.15)$$

Так как  $a/l = 1$  и  $l = 2$ , следовательно,  $a = 2$ .

6. Определяется сопротивление группового заземлителя:

$$R_{ГР} = \frac{R_B \cdot R_{Г}}{R_B \cdot n_{Г} + R_{Г} \cdot n_B \cdot n} = \frac{22,7 \cdot 2,65}{22,7 \cdot 0,77 + 2,65 \cdot 0,73 \cdot 8} = 1,8 \text{ Ом}, \quad (3.16)$$

7. Полученное сопротивление меньше требуемого:

$$R_{ГР} < R_{И}, \quad (3.17)$$

$$1,8 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

В целях защищенности служащих был внедрен частотно-регулируемый асинхронный электропривод прямоточного волочильного стана, который врубается в схему питания поочередно с автоматическим выключателем или же предохранителем.

Схема защитного заземления на рисунке 3.4.

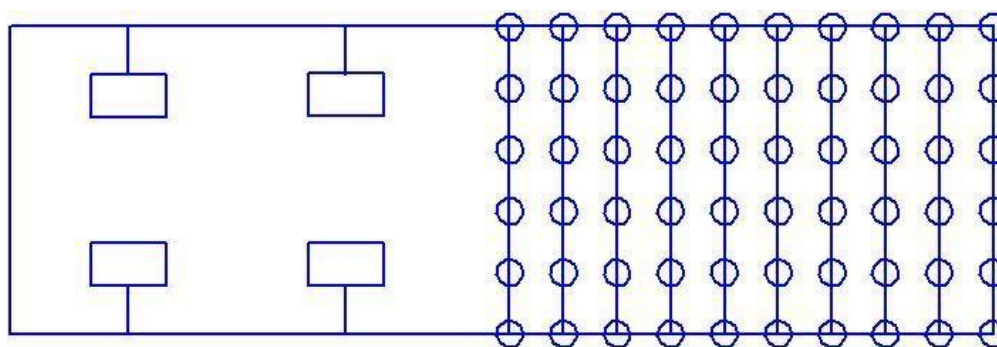


Рисунок 3.4 – Схема защитного заземления

Как видно из расчетов сопротивление группового заземлителя равно 1,8 Ом, что соответствует нормам ПУЭ [10]. Система заземления состоит из 60 заземлительных электродов диаметром 40мм имеющих длину 3м.

### 3.3 Нормированные параметры микроклимата

В рабочем помещении размером 18х9х3,2 метра объемом 518 м<sup>3</sup> работает 21 человек. Т. о. в помещение должен подаваться следующий объем наружного воздуха: при кубатуре помещения до 25 м<sup>3</sup>/чел – не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на человека. Воздух, поступающий в офисное помещение, очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов.

Микроклимат на производстве оценивается в рабочей зоне, т.е. пространстве высотой до 2 м., над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих. Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров. [18]

Для поддержания необходимых микроклиматических условий в

соответствии с требованиями «Санитарных норм, микроклимата производственных помещений» ГОСТ 12.1.005–88 и нормального функционирования оборудования цифровой станции в операторской устанавливается кондиционер. Нормативные показатели микроклимата приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Нормы микроклимата производственных помещений при выполнении работ средней тяжести

Период года	Температура С		Оптимальная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный период года	18-20	17-23	40-60	75	0,2	Не более 0,1
Теплый период года	21-23	18-27	40-60	65	0,3	0,2-0,4

Помещение прежде не имело оборудования для кондиционирования воздуха. Ниже приведён подробный расчёт системы обеспечения оптимального микроклимата с выбором конкретного оборудования.

### 3.4 Организация безопасности при работе с волочильными станами

При эксплуатации волочильных станов нужно блюсти надлежащие главные критерии защищенности.

Перед началом работы нужно выяснить и оглядеть лагерь:

- наличествует ли смазка на шнях валков и в подшипниках всей передачи;
- исправно ли нажимное устройство;
- отлично ли зафиксированы муфты на соединительных шпинделях;
- на пространстве ли огораживание.

Валки и рабочее пространство у стана обязаны быть отлично освещены. Перед запуском стана нужно предотвратить всех работающих на стане. При работе стана категорично возбраняется изготовлять установку и переустановку проводок, фотографировать или же раскрывать огораживания. Категорично возбраняется смазывать или же вытирать валки во время их вращения со стороны входа в их металла. При прокатке длинноватых полос нужно воспользоваться проводками, установленными по ширине прокатной полосы, собственно что защищает металл от сдвига в сторону. В случае если же проводки почему-то невозможно ввести, нужно заботливо наблюдать за верной перпендикулярной подачей полосы в валки. При задачке полосы нужно содержать ее за задний крышка, а не за края. В неприятном случае при сдвиге полосы в сторону она имеет возможность зажать пальцы или же руку работающего. В случае если при задачке полосы валки ее не захватили, то нужно приподнять верхний валок или же заострить крышка полосы.

Категорично возбраняется вталкивать металл с мощью, навалившись всем туловищем.

Категорично возбраняется:

- опираться на стан;
- абстрагироваться и глядеть по сторонам;
- прокатывать чужие предметы;
- допускать сторонних лиц к работе на стане;
- трудиться в распахнутой одежде;
- подключать лагерь без разрешения, ответственного человека за что или же другой лагерь.

Нужно наблюдать за достоверным закреплением волоки в волокодержателе. Категорично возбраняется изготовлять волочение без смазки. При волочении проволоки нужно стоять в стороне от стана, т.к. в случае обрыва крышка проволоки имеет возможность наместить увечье. При заправке проволоки нужно наблюдать за корректностью установки волоки. Заправку изготовлять со стороны входной распушки (рабочей зоны).

Категорично возбраняется дотрагиваться руками при волочении проволоки и волочильному барабану. В случае отрыва проволоки нужно незамедлительно приостановить лагерь.

В зоне вероятного нахождения людей ограждаются или же защищаются участки волочильных станков, к коим запрещен проход людей.

В систему транспортных средств нескончаемого воздействия входят нужные блокировки и сигнализация. На трудящихся пространствах находятся таблички, поясняющие смысл используемых средств сигнализации и порядок управления волочильным станом.

Нужно соблюдение критерий электробезопасности:

Проводку оснащения отлично отстаивают от механического и хим влияния в целях недопущения повреждения или же увлажнения ее изоляции.

Корпуса оснащения, электромоторов, железные части, защищающие электроаппаратуру, обязаны владеть защитное заземление.

Электронные провода от стана до рубильника отстаивают добавочной резиновой изоляцией. Дополнительное оснащение волочильного стана и движки обязаны быть заземлены. Заземление гарантирует защиту от проигрыша электронным током.

При замыкании на землю в электроустановках напряжением 3-35 кВт не идет по стопам близиться к пространству замыкания на расстояние наименее 4м в замкнутых распределительных устройствах и наименее 8м - в раскрытых распределительных устройствах.

Использование средств персональной обороны:

Спецодежда: костюмчик вискозно-лавсановый, башмаки кожаные, рубаха х./б., перчатки, беруши.

Рабочую одежду нужно держать в порядке, застегнуть или же подвязать обшлага рукавов, одеть головной убор, прибрать волосы под головной убор, не снимать головной убор во время работы.

В согласовании с притязаниями вибробезопасность труда на предприятии гарантируется: соблюдением правил и критерий эксплуатации машин и вступлением технологических процессов, внедрением машин лишь только в согласовании с предназначением, предусмотренным общепризнанными мерками допуска (НД); поддержанием технического состояния машин, характеристик технологических процессов и составляющих производственной среды на уровне, предусмотренном НД, актуальным проведением планового и дальновидного починки машин; совершенствованием режимов работы машин и составляющих производственной среды, исключением контакта работающих с вибрирующими поверхностями за пределами рабочего пространства или же зоны, вступлением огораживаний, предупреждающих символов, внедрением предупреждающих надписей, расцветки, сигнализации, блокировки и т.п.; усовершенствованием критерий труда (в т.ч. понижением или же исключением воздействия сопутствующих не очень благоприятных факторов); использованием средств персональной обороны от вибрации; вступлением и соблюдением режимов труда и развлечений, в большей мере снижающих неблагоприятное влияние пульсации на человека; санитарно-профилактические и оздоровительные события.

При работе волочильного стана не допускаются ремонтные и уборочные работы. Их выполнение выполняется при абсолютной остановке и выключении от сети стана, и на нем обязана быть вывешена табличка с надписью «Не подключать - трудятся люди!».

При обнаружении поломок оснащения или же в иных обстановках, сделавших или же способных делать аварийную быт на волочильном стане, нужно: закончить работу и покинуть страшную зону; предотвратить иных сотрудников об опасности; поставить в популярность конкретного начальника.

В пределах волочильного стана не допускается нахождение лиц, не имеющих дела к выполнению операции на определенной позиции стана.

Воспользоваться лишь только установленными проходами, уложенные на полу изделия, отходы и т.д.

Возбраняется изготовлять механосборочные работы с забинтованными пальцами без защитных резиновых напальчников.

Ставить и фотографировать томные изделия (массой больше 16 кг) лишь только с поддержкой подъемных устройств. Воспользоваться грузоподъемными механизмами лишь только впоследствии особого изучения, аттестации и оформленного допуска.

Использовать исправные гаечные ключи надлежащих объемов. При работе ключами не увеличивать трубой или же другими рычагами, не воспользоваться прокладками, в случае если ключи не отвечают объемам гаек, болтов, винтов.

Возбраняется мыть руки в масле, эмульсии, керосине и вытирать их обтирочными концами, грязными стружкой.



Возбраняется оставлять собственную одежду и брать на себя еду на рабочем пространстве. Машины, механизмы и другое производственное оснащение, транспортные способы, технологические процессы, материалы и хим препараты, способы персональной и коллективной обороны сотрудников, обязаны отвечать притязаниям охраны труда, установленным в РК, владеть сертификаты соотношения.

Перед началом работы сотрудник волоочильного стана обязан одеть полагающуюся спецодежду и знаток обуви.

Перед запуском волоочильного стана нужно выяснить его положение, сам лагерь, рабочую поверхность; исправность звуковой и световой сигнализации; исправность оповещающих датчиков, блокировок; присутствие и функциональность противопожарной обороны стана (для пожароопасных критерий работы); надежность работы приборов стана; исправность стана; присутствие защитного заземления электрического оборудования, брони кабелей, присутствие и надежность огораживаний блоков.

Перед запуском волоочильного стана нужно увериться в том, собственно что на земли стана не изготавливаются какие-либо работы.

Не допускается давать в работу волоочильный лагерь при захламленности и загромождении проходов.

Сотрудник волоочильного стана обязан принять меры по уничтожению выявленных дефектов, а при невозможности устроить это, заявить сменному мастеру и не подключать лагерь до уничтожения всех поломок.

В случае передачи замены без остановки оснащения сотрудник волоочильного стана, сдающий замену, обязан заявить работнику волоочильного стана, принимающему замену, и сменному мастеру обо всех имевших пространство поломках в работе обслуживаемых станом. Устроить запись в журнальчике приема-сдачи замены. Уборка просыпи и смазка устройств в этих случаях обязана выполняться в установленное время. Выявленные нарушения притязаний защищенности обязаны быть устранены личными силами до начала работы, а при невозможности устроить это сотрудник волоочильного стана должен заявить руководителю дел и серьезному за оглавление стана в исправном состоянии.

Сотрудник волоочильного стана должен трудиться в поставленной спецодежде и обуви, по указанию мастера применить еще иные способы персональной обороны: респиратор, противошумные наушники, защитную каску.

Сотрудник волоочильного стана должен: быть заботливым и исполнять запросы поставленных звуковых и световых сигналов; передвигаться по установленным проходам и переходным мостикам; наблюдать за исправностью огораживаний приводных, натяжных станций и рабочей плоскости волоочильного стана; наблюдать за исправным состоянием перегрузочных точек, движков, редукторов питателей, самодействующих приборов, поставленных на конвейере, за верной разгрузкой материалов в

приемные агрегаты; держать зону сервиса стана и рабочее пространство в чистоте, не загромождая их чужими предметами.

При централизованном дистанционно-автоматическом управлении технологическим оборудованием и перевозкой перерабатываемого материала и готовой продукции пуск стана выполняется с пульта

управления диспетчером завода. Перед пуском оснащения диспетчером сервируются вежливый световой и звуковой сигналы.

Перед началом загрузки оснащения нужно выяснить работу стана на холостом ходу. При данном уточняется корректность перемещения волочильного стана, недоступность поломок, его положение.

Во время работы волочильного стана работнику возбраняется: переставлять или же заменять волоку; стоять в стороне от волочильного стана или же пребывать с боковой стороны от стана; заменять или же смазывать волоку, а еще исправлять волоку и оснащение стана вручную; ретироваться без разрешения сменного мастера со собственного рабочего пространства.

Для предотвращения аварийных обстановок нужно не допускать разрыв проволоки, завала волочильного стана, забивки разгрузочных воронок и желобов, обрыва и пробуксовки проволоки.

Во время работы волочильного стана не допускается: уничтожение проблем, регулировка положения волоки; сбережение горючих жидкостей, смазочных и обтирочных материалов близко пусковых приборов стана; использование для редукторов приводов стана смазочных материалов, не рекомендованных заводом-изготовителем; работа при неисправных реле скорости, реле обороны от пробуксовки волочильного стана, реле схода, сигнальных устройствах и устройствах критической остановки стана, при возникших завалах транспортируемого материала на волочильном стане; уничтожение проблем волочильного стана. В процессе эксплуатации волочильного стана нужно постоянно держать под контролем: корректность загрузки волоки транспортируемым материалом; мягкость перемещения и положение работы стана; состояние и работу щеток и скребков.

При работе с передвижными работами особенная забота надлежит обращать на огораживание пространств вероятного защемления в зоне набегания ленты на тамбур, ролик, шкив.

При движении передвижных дел завода волочильного стана сотрудники, производящие эти движения, обязаны пребывать позади или же впереди передвижных дел.

## **4 Экономическая часть**

### **4.1 Эффективность использования системы управления частотно - регулируемого асинхронного электропривода прямоточного волочильного стана**

Внедрение системы управления многодвигательного электропривода переменного тока волочильного стана разрешает увеличить производительность стана, гарантировать эластичность изготовления и сделать возвышенный технико-экономический эффект. Увеличение производительности гарантируется за счет уменьшения дополнительного и машинного времени обработки, автоматизации установочных движений, т.е. миниатюризируется трудозатратность приготовления проволоки. Точность обработки растет за счет уничтожения промахов оператора, вероятных при ручной обработке.

Навык эксплуатации волочильных станков и изучения по технико-экономической производительности их использования зарекомендовали, собственно что при верном подборе характеристик системы управления характеристики финансовой производительности значимо растут. Издержки на подготовку изготовления понижаются в 8-10 раз, производительность труда увеличивается в 2-6 раза, понижается трудозатратность приготовления проволоки при значимом увеличении высококачественных данных проволоки.

В дипломной работе разработана система управления двухдвигательного энергосберегающего асинхронного электропривода волочильного стана. Созданная система управления ПЧ-АД содержит больше размашистый спектр регулировки частот вращения вала-двигателя. Это разрешает сберечь электричество и совершенствовать качество приготовления проволоки. Начальные данные для расчетов финансового эффекта приведены в задании дипломной работы, а еще рассчитаны в технологической части работы.

В последующем при расчете введем обозначение: базисный технологический процесс – ТПА, проектный технологический процесс – ТПБ.

### **4.2 Экономическое обоснование проекта**

Оптимизация системы управления двухдвигательного асинхронного электропривода волочильного стана позволяет снизить расход электроэнергии, увеличить ресурс работы электродвигателей и увеличить срок службы асинхронных двигателей и уменьшить влияние внешних воздействий на установившийся режим работы этого стана. Расход энергии при прокатке является существенной величиной, учитываемой при проектировании новых станков, определяющей собой мощность главного двигателя стана и мощность, передаваемую всеми передаточными устройствами.

При эксплуатации старых станков, намечаемый режим работы проверяют в отношении нагрузки двигателя и отдельных частей привода. Чтобы определить необходимую, для данных условий, мощность прокатки, широко используют различные приемы, основанные на практических данных. Однако во многих случаях оправдываются и теоретические расчеты.

Мощность, затрачиваемая при прокатке, определяется по формуле:

$$N_{\text{реч}} = N_{\text{деф}} + N_{\text{подш}} + N_{\text{ш.к.}} + N_{\text{ред}} + N_{\text{дв}} . \quad (4.1)$$

Расчет выполнен в соответствии с методикой определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.

В выборе аппаратных средств решающими факторами являлись высокая надежность элементной базы. В качестве аппаратных обеспечений были выбраны датчики скорости и суммирующие устройства и вторичные преобразователи, обеспечивающие формирование входных электрических аналоговых сигналов системы управления, а также показывающие приборы и органы управления. За счет этого достигается экономический эффект, который складывается из нескольких составляющих:

- энергосбережение до 40%
- увеличение  $\cos \varphi$  до 0.9-0.95
- увеличить КПД до 97%
- совместное управление регуляторами.

#### **4.3 Расчет затрат на разработку изготовления готовой продукции**

Издержки на разработку готовой продукции - это валютные способы на создание свежих и реконструкцию деятельных ведущих фондов. Серьезные издержки на создание системы управления. Издержки складываются из расходов на покупка оснащения и устройств, транспортных затрат, расходов на установка. Базой для составления сметы считается: спецификация на оснащение, прейскуранты цен, ценники на установка.

Спецификация на оснащение, прейскуранты цен, ценники на установку.

Серьезные издержки на создание системы управления складываются из надлежащего:

- издержки на покупку средств автоматизации;
- заработная оплата создателей (с отчислениями на общественные нужды);
- издержки на установку.
- издержки на покупку средств автоматизации.

#### **4.4 Расчет капиталовложений и экономической эффективности по варианту ТПБ**

В работе внедряется система «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» или «ПЧ-АД» - асинхронный двигатель, регулятор скорости, тиристорный преобразователь частоты, датчики скорости и пускорегулирующая аппаратура.

Акционерное общество «АЗТМ» предлагает следующий комплект:

- асинхронный двигатель – ВАО2-280-S6, цена – 1 135 000 тенге;

- тиристорный преобразователь частоты – GD100-7R5G-4, цена – 100 200тенге (в цену входит пускорегулирующая аппаратура).

Суммарные капиталовложения (система ПЧ-АД):

$$\sum K = K_0 + K_M, \quad (4.2)$$

где  $K_0$  – затраты на приобретение оборудования, включающие в себя расходы на транспортировку;

$K_M$  – затраты на монтаж.

$$C = C_{АД} + C_{ПЧ}, \quad (4.3)$$

где  $C_{АД}$  – цена асинхронного двигателя;

$C_{ПЧ}$  – цена преобразователя частоты (в комплекте с пускорегулирующей аппаратурой).

$$C = 1\,135\,000 + 100\,200 = 1,2352 \text{ млн. тенге.}$$

Затраты на транспортировку системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» принимаются равными 10% от его стоимости. Стоимость соответствующей системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель»:

$$K_0 = 0,1 \cdot C + C = 1,35872 \text{ млн. тенге.} \quad (4.4)$$

Затраты на монтажные расходы составляют примерно 7% от стоимости оборудования:

$$K_M = 0,07 \cdot C = 0,07 \cdot 1,2352 = 0,0864 \text{ млн. тенге.} \quad (4.5)$$

Тогда суммарные капиталовложения составляют:

$$\sum K = 1,35872 + 0,0864 = 1,4451 \text{ млн. тенге.}$$

4.4.1 Расчет текущих годовых эксплуатационных издержек по варианту ТПБ

Текущие годовые издержки на эксплуатацию.

Затраты на транспортировку системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» принимаются равными 10% от его стоимости.

$$И = И_{\text{фот}} + И_{\text{сн}} + И_{\text{э}} + И_{\text{а}} + И_{\text{н}}, \quad (4.6)$$

где  $И_{\text{фот}}$  – фонд оплаты труда (основная и дополнительная заработные платы);

$И_{\text{сн}}$  – социальный налог (11%);

$И_{\text{м}}$  – материальные затраты и запасные части (0,5% от капитальных вложений);

$И_{\text{э}}$  – электроэнергия для производственных нужд;

$И_{\text{э}}$  – электроэнергия для производственных нужд;

$И_{\text{а}}$  – амортизационные отчисления (нормы амортизационных отчислений для отрасли 5-10%);

$И_{\text{н}}$  – накладные расходы (косвенные расходы, сюда можно отнести все неучтённые расходы – управленческие, хозяйственные, затраты за обучение кадров, транспортные расходы).

$И_{\text{а}}$  – амортизационные отчисления (нормы амортизационных отчислений для отрасли 5-10%);

Обычно это 15 % от суммы всех остальных затрат.

Для вычисления заработной платы в таблице 4.1 приведем среднемесячные оклады обслуживающего персонала.

Таблица 4.1 – Среднемесячные оклады обслуживающего персонала

Список персонала	Кол-во	Должностная ставка рабочих, тыс. тенге.	З/пл в год рабочих, тыс. тенге.
Наладчик	1	60	720
Итого:	1		720

Фонд оплаты труда за год составит:

$$И_{\text{фот}} = 720 \text{ тыс. тенге.}$$

Издержки на социальный налог:

$$И_{\text{сн}} = (И_{\text{фот}} - 10\% \cdot И_{\text{фот}}) \cdot 11\%, \quad (4.7)$$

где 10% - пенсионные отчисления:

$$И_{\text{сн}} = (720 - 0,1 \cdot 720) \cdot 0,11 = 648 \text{ тыс. тенге.}$$

Издержки на материальные затраты и запасные части (0,5% от капитальных вложений)

$$I_M = K \cdot 0,005 = 1,4451 \cdot 0,005 = 7,225 \text{ тыс. тенге}$$

Определение издержек годовых затрат на электроэнергию с учётом потерь (для системы ПЧ - АД):

$$I_{\text{э}} = W \cdot I_{\text{уэ}} \cdot N, \quad (4.8)$$

где  $W$  – годовое потребление электроэнергии ПЧ – АД  
 $I_{\text{уэ}}$  – тариф на электроэнергию,  $I_{\text{уэ}} = 14,36$  тенге/кВт·ч  
 $N$  – количество двигателей (в нашем случае  $N = 2$ )  
Потери электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P_c \cdot T_r = 1,36 \cdot 1404 = 1909,44 \text{ кВт.} \quad (4.9)$$

где  $\Delta P_c$  – средние потери активной мощности рассматриваемого элемента электропривода;

$T_r$  – годовое время работы ( $T_M - 10\%T_M$ ).

Средние потери активной мощности:

$$\Delta P_c = \Delta P_m \cdot \tau = 1,76 \cdot 0,77 = 1,36 \text{ кВт,} \quad (4.10)$$

где  $\Delta P_m$  – максимальные потери активной мощности;

$\tau$  – относительное время использования максимума потерь;

$$\tau = 0,7 \cdot \frac{T_m}{T_r}, \quad (4.11)$$

где  $T_m$  – годовое число часов использования максимума нагрузки, 5 дней в неделю по 6 часов.

$$T_m = 5 \cdot 6 \cdot 52 = 1560 \frac{\text{ч}}{\text{год}},$$

$$\tau = 0,7 \cdot \frac{1560}{1560 - 0,1 \cdot 1560} = 0,78.$$

Максимальные потери активной мощности определяются:

$$\Delta P_m = \Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{нн}} \cdot K_3^2 = 0,99 + 1,2 \cdot 0,8^2 = 1,76 \text{ кВт,} \quad (4.12)$$

Где  $\Delta P_{\text{хх}}$  – потери холостого хода

$$\Delta P_{xx} = 0,55 \cdot \Delta P_H = 0,55 \cdot 1,8 = 0,99 \text{ кВт}, \quad (4.13)$$

$\Delta P_{HH}$  – номинальные загрузочные потери,

$$\Delta P_{HH} = 0,67 \cdot \Delta P_H = 0,67 \cdot 1,8 = 1,2 \text{ кВт}, \quad (4.14)$$

$K_3$  – коэффициент загрузки,  $K_3 = 0,8$ :

$$\Delta P_H = P_H \cdot \frac{1-\eta}{\eta} \cdot K_3 = 30 \cdot \frac{1-0,93}{0,93} \cdot 0,8 = 1,8 \text{ кВт}, \quad (4.15)$$

$P_H = 18,5$  кВт (по паспортным данным).

Годовое потребление электроэнергии:

$$W = T_M + P_H = 1560 \cdot 18,5 \cdot 3 = 86580 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{год}}. \quad (4.16)$$

Потребление электроэнергии плюс потери:

$$W_{\Pi} = W + \Delta W = 86580 + 1909,44 = 88,489 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{год}}. \quad (4.17)$$

$$I_3 = W \cdot I_{уэ} \cdot N = 86580 \cdot 14,36 = 1,243 \text{ тыс. тенге.}$$

Издержки на амортизацию:

$$I_A = \sum K \cdot 0,05 = 1,4451 \cdot 0,05 = 722 \text{ тыс. тг.}$$

Издержки на накладные расходы:

$$I_H = 0,15 \cdot (I_{3П} + I_{CH} + I_M + I_A),$$

$$I_H = 0,15 \cdot (720 + 648 + 7,225 + 722) = 0,15 \cdot 2,097 = 315 \text{ тыс. тенге.}$$

Найдем текущие годовые эксплуатационные издержки:

$$I = I_{\text{фот}} + I_{CH} + I_M + I_A + I_H,$$

$$I = 720 + 648 + 722 + 315 = 2,405 \text{ тыс. тенге.}$$

#### 4.4.2 Расчет необходимого количества оборудования

Расчет необходимого количества оборудования ведут по формуле:

$$C_p = \frac{\sum P_{inp} \cdot t_{\text{шт}} \cdot K_{п.з.}}{F_{д.о.} \cdot \eta \cdot 60},$$



где  $P_i$  – программа выпуска, шт;  
 $t$  – штучное время на операции, мин;  
 $K_{п.з.}$  – коэффициент, зависящий от подготовительно-заключительного времени;

$F_{д.о.}$  – действительный годовой фонд работы оборудования.

$t$  – штучное время на операции, мин;

Результаты вычисления приведены в таблицах 4.2 и 4.3

Таблица 4.2- Итог расчетов по ТПА.

Имя оборудования	$T_{шт}$	$K_{п.з.}$	$F_{д.о.}$	$\eta_n$	$C_p$	$C_{пр}$
1	2	3	4	5	6	7
Преобразователь напряжения	30,28	1,05	1887,52	0,85	3,88	4
Электротехнические оборудования	106,74	1,07	1887,52	0,85	13,66	14
Силовой кабель	73,86	1,05	1887,52	0,85	9,46	10
Монтажный кабель	22,8	1,05	1887,52	0,85	2,92	3
Итого	233,68					31

Таблица 4.3 – Итог расчетов по ТПБ.

Имя Оборудования	$T_{шт}$	$K_{п.з.}$	$F_{д.о.}$	$\eta_n$	$C_p$	$C_{пр}$
1	2	3	4	5	6	7
Преобразователь напряжения	45,42	1,05	1887,52	0,85	5,8	6
Электротехнические оборудования	165,45	1,07	1887,52	0,85	21,18	22
Силовой кабель	111,52	1,05	1887,52	0,85	14,27	15
Монтажный кабель	34,2	1,05	1887,52	0,85	4,38	5
Итого	356,6					48

#### 4.5 Расчет эффективности по варианту ТПА

В варианте ТПА эксплуатируемых изделий больше, за счет стоимости потребления электроэнергии. В схеме ТПА количество потребляемой электроэнергии на 40% больше, а также снижаются амортизационные отчисления за счет уменьшения стоимости оборудования  $T_{ПА}=C_{пр}=48 > T_{ПБ}$

=Спр=31. Таким образом, целесообразно применять схему ТПБ, она является более эффективной, надежной и экономичной.

По двум приведенным схемам ТПА и ТПБ можно сделать следующий вывод: в схеме ТПА на изготовление блока проволоки тратится больше времени, чем в схеме ТПБ, и необходимого приведённого количества оборудования. ТПА = Тшт = 356,6 > ТПБ = Тшт = 233,68, соответственно ТПА = Спр = 48 > ТПБ = Спр = 31.

Таким образом, целесообразно применять схему ТПБ, она является более эффективной, надежной и экономичной.

#### 4.6 Расчет потребляемой электроэнергии

Активная мощность потребляемая из сети:

$$P_2 = \frac{P_H}{\eta} \cdot 100\% = \frac{200}{62,2} \cdot 100\% = 321,5 \text{ кВт}, \quad (4.19)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность электропривода, кВт;

$\eta$  – коэффициент полезного действия электропривода, %.

Реактивная мощность потребляемая из сети:

$$Q_1 = P_2 \cdot \tan \varphi = 321,5 \cdot 0,52 = 167,2 \text{ кВар}, \quad (4.20)$$

где  $\tan \varphi = 0,52$  – рассчитываем через известное значение коэффициента мощности = 0,89.

Активная мощность характеризует процесс преобразования электроэнергии в другой вид энергии.

Активная мощность, идущая на выработку реактивной мощности:

$$P'_2 = Q_1 \cdot q = 167,2 \cdot 0,1 = 16,7 \text{ кВт}, \quad (4.21)$$

где  $q = 0,1 \text{ кВт/кВар}$  – экономический эквивалент реактивной мощности.

Затраты на оплату за потребленную электроэнергию:

$$Z_{эл1} = (P_2 + P'_2) \cdot K_{м1} \cdot K_t \cdot K_{п} \cdot T_{э} \cdot Ц_{э} = (321,5 + 16,7) \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 8251,9 \cdot 16,02 = 22533082,577 \text{ тенге}, \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} Z_{эл2} &= (P_2 + P'_2) \cdot K_{м2} \cdot K_t \cdot K_{п} \cdot T_{э} \cdot Ц_{э} \\ &= (321,5 + 16,7) \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,05 \cdot 8251,9 \cdot 16,02 \\ &= 26288596,275 \text{ тенге}, \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$T_{э} = D \cdot n \cdot t(1 - 0,01 \cdot \beta) = 365 \cdot 3 \cdot 8 \cdot (1 - 0,01 \cdot 5,8) = 8251,9 \text{ ч.}, \quad (4.23)$$

где  $K_m$  – коэффициент загрузки по мощности;  
 $K_t = 0,8$  – коэффициент, учитывающий загрузку по времени;  
 $K_{\Pi} = 1,05$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети;  
 $\text{Ц}_э = 16,02$  тенге./кВт\*ч. – стоимость электроэнергии;  
 $T_э$  – эффективный фонд времени работы электропривода в планируемом периоде;  
 $n = 3$  – сменность работы электропривода;  
 $t = 8$  ч. – средняя продолжительность смены;  
 $\beta = 5,8\%$  – планируемые потери рабочего времени на ремонт и обслуживание электропривода.

#### 4.7 Затраты на ремонт и межремонтное обслуживание

Затраты на ремонт и межремонтное обслуживание оборудования определяются по формуле:

$$\begin{aligned} Z_{P1} &= R_1 \cdot C_{P.E.1} = 34,13 \cdot 6240 = 212971,2 \text{ тенге,} \\ Z_{P2} &= R_2 \cdot C_{P.E.2} = 32,4 \cdot 4940 = 160056 \text{ тенге,} \end{aligned} \quad (4.24)$$

где  $C_{P.E}$  – затраты на ремонт и обслуживание единицы ремонтной сложности.

Сумма групп ремонтных сложностей схемы электроавтоматизации:

$$\begin{aligned} \sum R_1 &= \sum R_{CO1} + \sum R_{CY1} = 29,06 + 5,07 = 34,13; \\ \sum R_2 &= \sum R_{CO2} + \sum R_{CY2} = 29,8 + 2,6 = 32,4. \end{aligned} \quad (4.25)$$

Суммарная ремонтосложность силового оборудования:

$$\begin{aligned} \sum R_{CO1} &= \sum R_D + \sum R_{АП1} = 17,6 + 11,46 = 29,06; \\ \sum R_{CO2} &= \sum R_D + \sum R_{АП2} = 17,6 + 12,2 = 29,8. \end{aligned}$$

Суммарная ремонтосложность электродвигателей, комплектующих оборудование:

$$\sum R_D = \sum (R_{OD} \cdot C_1 \cdot C_2) = 2 \cdot 8,8 \cdot 1 \cdot 1 = 17,6, \quad (4.27)$$

где  $R_{0д} = 8,8$  – основная часть ремонтосложности электрической машины;

$C_1 = 1$  – коэффициент типа электрической машины (для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором);

$C_2 = 1$  – коэффициент числа быстрых скоростей электродвигателя (для односкоростного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором).

Суммарная ремонтосложность электроаппаратуры и электропроводки:

$$\sum R_{АП1} = \sum R_{A1} + \sum R_{П} = 9,7 + 1,76 = 11,46;$$

$$\sum R_{АП1} = \sum R_{A1} + \sum R_{П} = 12,2 + 1,76 = 13,96. \quad (4.28)$$

Суммарная сложность электрической аппаратуры, комплектующей двигателя:

$$\sum R_{д} = \sum (C_3 \cdot n_{A1}) = 0,1 \cdot (0,2 \cdot 12 + 0,3 \cdot 8 + 1 \cdot 14 + 2 \cdot 26 + 3 \cdot 9 + 4 \cdot 0) = 9,7,$$

$$\sum R_{д} = \sum (C_3 \cdot n_{A1}) = 0,1 \cdot (0,2 \cdot 10 + 0,3 \cdot 10 + 1 \cdot 38 + 2 \cdot 35 + 3 \cdot 3 + 4 \cdot 0) = 12,2,$$

где  $C_3$  – коэффициент ремонтосложности электроаппаратуры, в зависимости от группы;

$n_{A1}$  – количество электроаппаратов в группе, представленное в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Группы ремонтосложности электроаппаратуры.

Группа	$C_3$	$n_{A1}$	$n_{A2}$
1	0,2	12	10
2	0,3	8	10
3	1,0	14	38
4	2,0	26	35
5	3,0	9	3
6	4,0	0	0

Суммарная ремонтосложность электропроводки:

$$\sum R_{д} = \sum (C_3 \cdot n_{A1}) = 0,1 \cdot 17,6 = 1,76, \quad (4.30)$$

где  $C_3 = 0,1$  – коэффициент ремонтосложности электропроводки.  
Суммарная ремонтосложность системы управления:

$$\sum R_{cy1} = K_1 \cdot (\sum R_{11} + \sum R_{y21}) + \sum R_{доc} = 1 \cdot (3,6 + 0,87) = 5,07;$$

$$\sum R_{cy1} = K_1 \cdot (\sum R_{12} + \sum R_{y22}) + \sum R_{доc} = 1 \cdot (0 + 2) + 0,6 = 2,6, \quad (4.31)$$

где – коэффициент производства системы управления (для отечественной системы управления).

Суммарная ремонтосложность плат на микросхемах:

$$\sum R_{11} = 0,02 \cdot K_3 \cdot n_1 = 0,02 \cdot 1,5 \cdot 120 = 3,6, \quad (4.32)$$

где  $K_3 = 1,5$  – коэффициент типа платы;

$n_1$  – количество установленных микросхем.

Суммарная ремонтосложность плат на дискретных элементах:

$$\sum R_{y21} = 0,01 \cdot n_{21} = 0,01 \cdot 87 = 0,87,$$

$$\sum R_{y22} = 0,01 \cdot n_{22} = 0,01 \cdot 200 = 2, \quad (4.33)$$

Суммарная ремонтосложность датчиков обратной связи:

$$\sum R_{д} = \sum K_7 \cdot n_{доc} = 0,6 \cdot 1 = 0,6, \quad (4.34)$$

где  $K_7 = 0,6$  – коэффициент типа датчика обратной связи;

$n_{доc}$  – количество датчиков обратной связи.

Более целенаправленно расценивать ремонтосложность в условных величинах методом сравнения трудозатратности с починки всякого оснащения с трудозатратностью серьезного починки простого станка.

Ремонтные собенности станка приняты за условную единицу ремонтосложности.

#### 4.8 Расчет срока окупаемости

Срок окупаемости капитальных вложений рассчитывается по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K}{И} = \frac{1,4451}{2,405} = 0,6 \text{ г.} \quad (4.35)$$

Нормативный срок окупаемости рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ок.н}} = \frac{1}{E_{\text{н}}} = 6,7 \text{ л.} \quad (4.36)$$

Внедрение проектируемого электропривода считается целесообразным когда  $T_{\text{ок}} \leq T_{\text{ок.н}}$ .

Вывод: в итоге проделанного сопоставления видать, собственно что вариант электропривода с асинхронным движком с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты экономически целесообразней, чем асинхронный движок без регулировки, например как время окупаемости внедряемого электропривода меньше нормативного. Электропривод с частотно управляемым электродвигателем разрешает воплотить в жизнь больше высококачественную проволоку и гарантирует огромную производительность. Не считая такого нельзя подсчитать финансовый эффект от надлежащих моментов:

а) Бережливость проволоки за счет больше четкого ее затраты в зависимости от потребности;

б) Бережливость от простоя оснащения за счет понижения аварийности в итоге порывов в сети (снижение лишнего давления, нагрузки на цех с волочильным оборудованием).

## Заключение

В моей дипломной работе разработана система управления выравнивания противонапряжения в прямоточном волочильном стане, которая учитывает разность скоростей между первым и вторым двигателями. Также создана структурная и математическая модели асинхронного электропривода волочильного стана. В работе показана созданная программа синтеза параметров системы управления двухдвигательного электропривода прямоточного волочильного стана. Разработана устойчивость движения прямоточного волочильного стана в системе Matlab.

В разделе охрана труда рассмотрены вопросы по мерам безопасности при работе с волочильными станами ,нормированию микроклимата в рабочей площади цеха с волочильным оборудованием, рассчитано защитное заземление, проделан разбор условий труда работников цеха.

Была рассчитана система управления частотно – регулируемого асинхронного электропривода, при которой рабочее пространство для выполнения работы в положении стоя соответствует притязаниям ГОСТа (ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее пространство при выполнении дел стоя. Совместные эргономические требования»). Для электробезопасности служащих был исполнен расплата защитного заземления, он считается более незатейливый и в то же время действенной мерой обороны от проигрыша электронным током при возникновении напряжения на железных токоведущих частях оснащения.

Проделано технико-экономическое обоснование работы, которое доказывает его эффективность, при сроке окупаемости в 7 месяцев.

## Список литературы

1. Производство стальной проволоки: Монография / Х.Н. Белалов, Б.А. Никифоров, Г.С. Гун и др. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. - 543 с.
2. Ресурсосбережение в метизном производстве: Коллективная ХХ монография / В.И. Зюзин, В.А. Харитонов, А.А. Радионов и др. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – 160с.
3. Туганбаев И.Т. Автоматизированный электропривод волочильного оборудования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: Алматы, 1997. – 350с.
4. Туганбаев И.Т., Мунсузбаев Т.М., Туганбаев А.И., Проблемы автоматизации волочильного оборудования // Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития: тр. IV междунар. конф. По автоматизированному электроприводу / Часть 2. – Магнитогорск, 2004. С. 51-52.
5. Радионов А.А., Радионова Л.В. Влияние противонапряжения на очаг деформации при волочении проволоки // Тр. Конференции, 2006. С 137 - 139
6. Коковихин Ю.И. Технология сталепроволочного производства. – Киев, 1995. – 608 с.
7. Анфилофьев Б.А., Скачкова Е.А. Электробезопасность. Расчет защитного заземления: Методические указания к выполнению практической работы. – Самара: Сам ГАПС, 2002. – 18с.
8. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
9. Волочильные станы для производства стальной проволоки / В.Д. Королев, И.И. Боков, Л.Е. Кандауров, Л.Г. Утюганов, Б.Н. Красавин. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. – 236 с.
10. ПУЭ РК 2013 г.
11. ПТЭЭ РК 2012г.
12. Герман – Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА – Век, 2008. – 368 с.
13. Терехов В.М., Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
14. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB,
15. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
16. Розанов Ю.К., Соколова Е.М. Электронные устройства электротехнических систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 277 с.



17.Половко А.М., Бутусов П.Н. MATLAB для студентов. – СПб.:БХВ – Петербург, 2005.

18.Тергемес К.Т., Акпанбетов Д.Б., Сарсенбаев Е.А. Многодвигательный энергосберегающий электропривод конвейеров. Труды второй Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию независимости Республики Казахстан «Горное дело и металлургия в Казахстане, состояние и перспективы». Том I, с. 335-337, 2006

19. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MA LAB 7/ - СПб.: БХВ– Петербург, 2005. – 1104 с.: ил.

20. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975.

21. Сагитов П.И., Тергемес К.Т., Шадхин Ю.И. Параметрический синтез системы управления многодвигательного асинхронного электропривода // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2011, №2 (13), с. 63 – 66.

22. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. – М.: Энергоатомиздат, 1988.