

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
"Дніпровська політехніка"

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**дипломного проекту (роботи)**

бакалавр  
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.05070204 «Електромеханіка»  
(код і назва напряму підготовки)

освітній рівень бакалавр  
(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки  
(код і назва кваліфікації)

на тему Регульований електропривод швидкісного механізму натиску валків  
блюмігу

**Виконавець:**

студент 4 курсу, групи ЕМ-14-1

\_\_\_\_\_ Шепетько Д.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<i>Бородай В.А.</i>		
розділів			
<i>Спеціальна частина</i>	<i>Бородай В.А.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>Голінько В.І.</i>		
<i>Економіка</i>	<i>Тимошенко Л.В.</i>		
Рецензент	<i>Ковальов О.Р.</i>		
Нормоконтроль	<i>Казачковський М.М.</i>		

Дніпро  
2018

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
"Дніпровська політехніка"

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Завідувач кафедри

електроприводу

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 29 » 01 2018 року

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМ-14-1 Шепетько Д.О.

(група)

(прізвище та ініціали)

**Тема дипломного проекту** Регульований електропривід швидкісного механізму натиску валків блюмінгу

затверджена наказом ректора ДВНЗ "НГУ" від 07.05.2018 № 568-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний	Розрахунок та вибір електротехнічного обладнання блюмінгу, дослідження динаміки електроприводу.	29.01 – 27.05
Охорона праці	Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та заходи щодо їх усунення	28.05 – 3.06
Економічний	Розрахунок основних техніко-економічних показників впровадження дипломного проекту.	4.06 – 10.06

Завдання видав

(підпис)

Бородай В.А.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

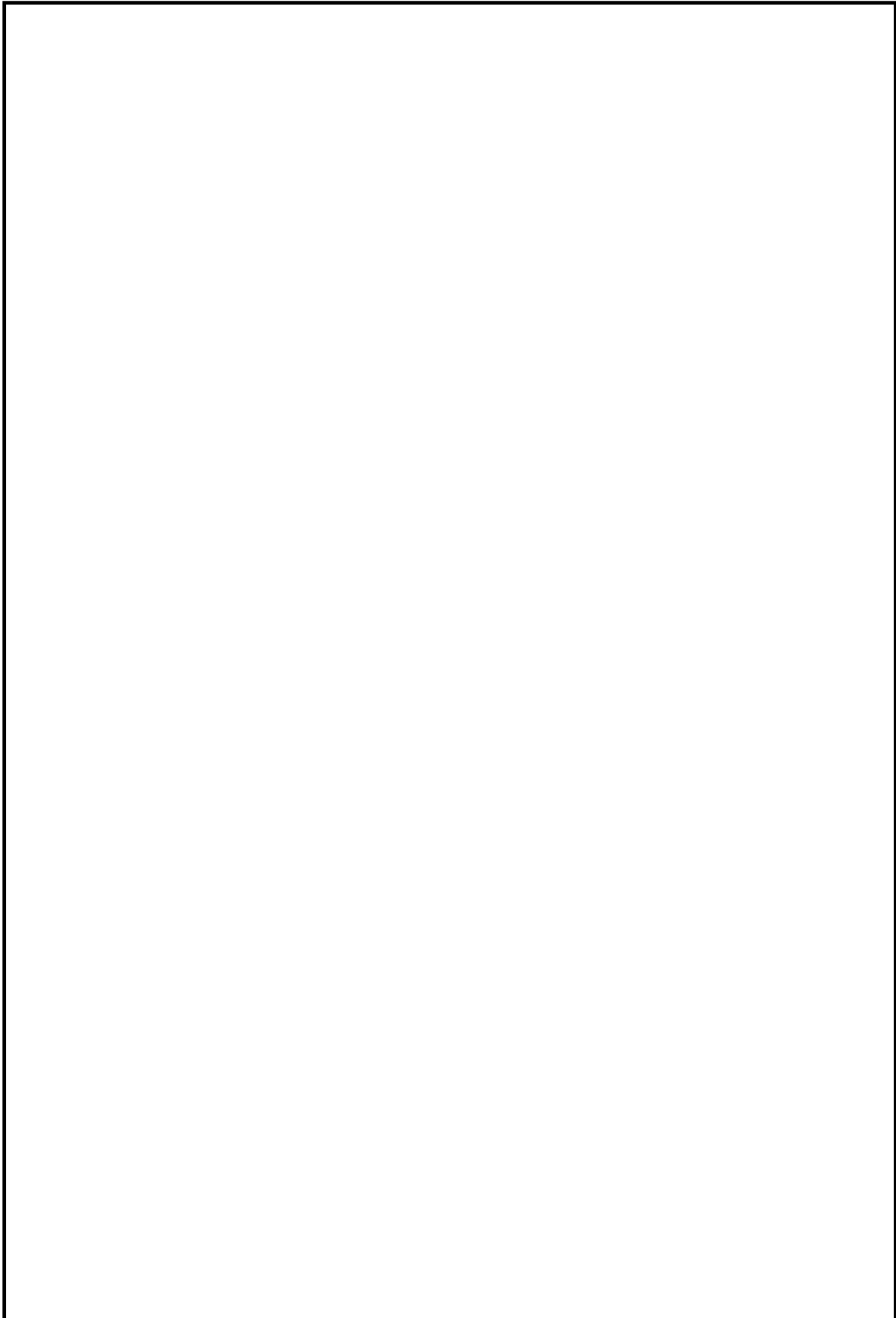
(підпис)

Шепетько Д.О.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 29.01.2018

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 20.06.2018



					ЕП.18.15.С.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		0

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка стр. 79, рис. 17, табл. 9, источников использованной литературы 20, листов чертежей 4.

Объект работы: регулируемый электропривод быстроходного механизма нажатия валков блюминга.

Цель работы: замена гидравлической системы нажимной клетки блюминга на электромеханическую.

Выбраны элементы силовой цепи: асинхронный электродвигатель 4А315S4УЗ, преобразователь частоты ALTIVAR 71. Рассчитаны параметры векторного управления системы регулирования скорости.

Исследована динамика проектируемого электропривода в режимах пуска, установившегося движения и торможения с использованием специализированного пакета MATLAB приложения Simulink.

Предложены инженерные мероприятия для улучшения эргономики и снижению влияния вредных и опасных факторов производства.

Определены капитальные и эксплуатационные затраты для внедряемого оборудования.

ПРОКАТНАЯ КЛЕТЬ БЛЮМИНГА, МЕХАНИЗМ НАЖИМНЫХ ВАЛКОВ, ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, ВЕКТОРНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИИ, АНАЛИЗ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА, РАСЧЕТ КАПИТАЛЬНЫХ И ЭКСПУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ.

					ЕП.18.15.С.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		1

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка стор. 79, рис. 17, табл. 9, джерел використаної літератури 20, листів креслень 4.

Об'єкт роботи: регульований електропривод швидкісного механізму натиску валків блюмінгу.

Ціль роботи: заміна гідравлічної системи нажимної кліті блюмінгу на електромеханічну.

Вибрані елементи силового ланцюга: асинхронний електродвигун 4A315S4Y3, перетворювач частоти ALTIVAR 71. Розраховані параметри векторного керування системи регулювання швидкості.

Досліджена динаміка проектованого електропривода в режимах пуску, усталеного руху та гальмування з використанням спеціалізованого пакета MATLAB додатка Simulink.

Запропоновані інженерні заходи для покращення ергономіки та зниження впливу шкідливих и небезпечних факторів виробництва.

Визначено капітальні та експлуатаційні затраті для впроваджуваного обладнання .

ПРОКАТНА КЛІТЬ БЛЮМІНГА, МЕХАНІЗМ НАЖИМНИХ ВАЛКІВ, ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗМІННОГО СТРУМУ, ВЕКТОРНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ, АНАЛІЗ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЦТА, РОЗРАХУНО КАПІТАЛЬНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ.

					ЕП.18.15.С.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		2

## ABSTRACT

Explanatory note p. 79, Fig. 17, tab. 9, sources of used literature 20, sheets of drawings 4.

Object of work: controlled electric drive of the high speed screwdown mechanism of the blooming rolls.

The purpose of the work: replacement of the hydraulic system of the press cage of blooming on electromechanical.

The elements of the power circuit are selected: asynchronous electric motor 4A315S4Y3, frequency converter ALTIVAR 71. The parameters of the vector control of the speed control system are calculated.

The dynamics of the projected electric drive in the modes of start-up, steady-state motion and braking using the specialized package MATLAB of the Simulink application is investigated.

Engineering measures are proposed to improve ergonomics and reduce the impact of harmful and dangerous factors of production.

The capital and operating costs for the implemented equipment are determined.

ROLLING CELL OF BLUMMING, PRESSURE ROLLER MECHANISM, AC ELECTRIC, VECTOR REGULATION SYSTEM, FREQUENCY CONVERTER, DYNAMIC INVESTIGATION, ANALYSIS OF HARMFUL PRODUCTION FACTORS, CALCULATION OF CAPITAL AND EXPANSION COSTS.

					ЕП.18.15.С.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		3

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>1.ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ</b> .....	7
1.1.Общие сведения.....	8
1.2Особенности технологической схемы блюминга.....	9
1.3.Техническая характеристика объекта проектирования.....	12
1.4.Требования к системе электропривода.....	15
<b>2.АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД</b> .....	17
2.1.Предварительный расчет нажимного механизма.....	18
2.2. Проверка двигателя по теплу.....	22
2.3. Проверка двигателя по мощности.....	25
2.4. Проверка двигателя на перегрузочную способность.....	26
2.5. Выбор преобразовательного устройства.....	27
<b>3.ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	30
3.1. Общие сведения о методах частотного управления.....	31
3.2. Расчет параметров векторной системы управления.....	32
3.3. Разработка модели электропривода и результаты моделирования.....	38
<b>4.ОХРАНА ТРУДА</b> .....	43
4.1. Анализ вредных производственных факторов проектируемого технологического процесса, объекта, системы или устройства.....	44
4.2. Мероприятия по технике безопасности труда и безопасной эксплуатации установки.....	46

									Лист
									4
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					

4.3. Производственная санитария и эргономика.....	51
4.4. Противопожарная безопасность.....	53
<b>5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....</b>	<b>55</b>
Введение.....	56
5.1 Расчёт капитальных затрат.....	57
5.2 Затраты на приобретение оборудования.....	58
5.3 Затраты на монтаж и наладку.....	58
5.4 Расчёт эксплуатационных затрат.....	61
5.5 Расчёт амортизационных отчислений.....	61
5.6 Расчет годовых затрат на техническое обслуживание и поточный ремонт.....	62
5.7 Расчет стоимости потребленной электроэнергии.....	64
Вывод.....	65
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>66</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>69</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>71</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>77</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В.....</b>	<b>79</b>



## ВВЕДЕНИЕ

По данным мировой ассоциации производителей стали World steel в 2016 году Украина занимала 10 место среди всех производителей. Согласно годовому отчету КМ в было произведено 24,2 млн. т. стали, что на 1,2 млн. т. больше по сравнению с предыдущим годом. Несмотря на то, что прогнозируемая мировая стоимость стали составляет около 400 \$ за тонну потенциальный доход от реализации может составлять примерно 9 миллиардов долларов. Поэтому дальнейшее развитие металлургической промышленности является весьма важной задачей для государства.

Известно, что конкурентоспособность продукции, прежде всего, связана с ресурсо- и энергосбережением, так как эти составляющие в общей стоимости продукта имеют наибольший вес. Как следствие, для сохранения своего положения на мировом рынке Украине необходимо непрерывно совершенствовать технологию металлургического производства.

Основной механизм производства сортамента - прокатные клетки, а ее нажимной привод обладает некоторыми особенностями. Так, для его привода зачастую применяют гидравлическую систему, конструкция которой имеет сложное устройство, а эксплуатация гидравлических цилиндров сопровождается подтеканием жидкости. Невозможность обеспечить малый разлив масла становится причиной выхода из строя инкодеров определения положения системы, и как следствие возникновения аварийных ситуаций.

В отличие от гидравлической электромеханическая система не содержит подобных недостатков, а напротив имеет большую надежность и безопасность, низкую стоимость конструкции и обслуживания, а самое главное позволяет повысить качество конечной продукции.

Принимая во внимание сказанное, при проектировании принято решение о замене гидравлической системы блюминга на электромеханическую с использованием электропривода на базе АД с КЗ ротором и системой векторного управления, которая по качеству не уступает УП-ДПТ.

									Лист
									6
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					

# ГЛАВА 1.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКА

# ЧАСТЬ

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		7

## 1.1 Общие сведения

Блюминг – специальный прокатный стан, предназначенный для обжатия слитков большого сечения и изготовления из них заготовок квадратного или прямоугольного сечения (блюмы).

Первый промышленный стан, предназначенный для прокатки слитков такого назначения, был построен в США в 1871 году. Его отцом-основателем стал известный инженер А. Холлей. Дальнейшее мировое развитие металлургических технологий осуществлялась, путем распространения мартеновского способа выплавки стали, а ее обработку планировалась выполнять методом прокатки. Следует отметить, что первый изготовленный в СССР блюминг увидел свет в 1931 году, а внедрен в производство через два года на металлургическом комбинате в городе Макеевка (Украина).

Как правило, блюминговые станы характеризуют размером используемых прокатных валков. При этом такие станы оснащают двумя («дуо»), а реже тремя валками («трио»).

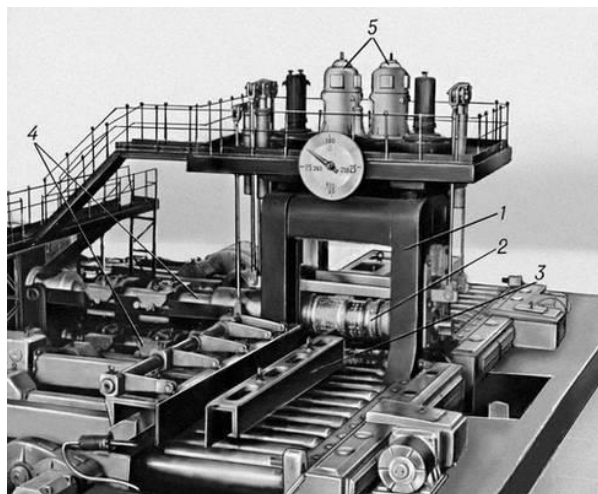


Рис. 1.1 Макет блюминга:

- 1 – рабочая клеть;
- 2 – верхний валок;
- 3 – манипулятор;
- 4 – универсальные шпиндели;
- 5 – главные электродвигатели.

Обычно блюминг включает в себя две прочные станины, выполненные из чугуна и скрепленные в жесткую систему. В них устанавливаются два валка, диаметр которых составляет от 1 до 1,3 м. Для верхнего валка в системе

предусмотрена возможность его подъема и опускания, за счет специального устройства, которое позволяет гибко приспосабливаться к толщине прокатываемого слитка.

Рассматривая технологический процесс прокатки блюмов можно выделить следующие основные технологические этапы:

- доставка слитков посредством железнодорожных платформ из мартеновского или конвертерного цеха к нагревательным колодцам;
- разогрев стальных слитков. Слитки внутри колодца располагались вертикально, а их температура нагрева определялась маркой стали;
- в дальнейшем доставка нагретого слитка посредством слитковоза к приемному рольгангу блюминга;
- предварительное взвешивание исходного слитка и подача его к валкам;
- прокатка слитка. Данная операция осуществляется со значительным количеством проходов – от 11 до 19. Величина обжатия за подход при этом составляла от 40-50 до 110-120 мм. Также осуществлялось промежуточное кантование на 90°;
- удаление переднего и заднего конца полосы. Выход готового изделия на станах такого типа составляет от 85 до 90%.

## 1.2 Особенности технологической схемы блюминга

Схема расположения оборудования блюминга (рис.1.2) обычно содержит три параллельных пролета. Первый представляет, изолированное помещение машинного зала, в котором установлено электрооборудование стана. Во втором – все механизмы прокатки, а в третьем, который называют скрапным, устройства уборки окалины и обрезки.

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		9

В соответствии с технологическим процессом оборудование блюминга можно разделить на четыре участка: главный (приемный); линию рабочей клетки; ножницы; участок уборки блюмов и слябов.

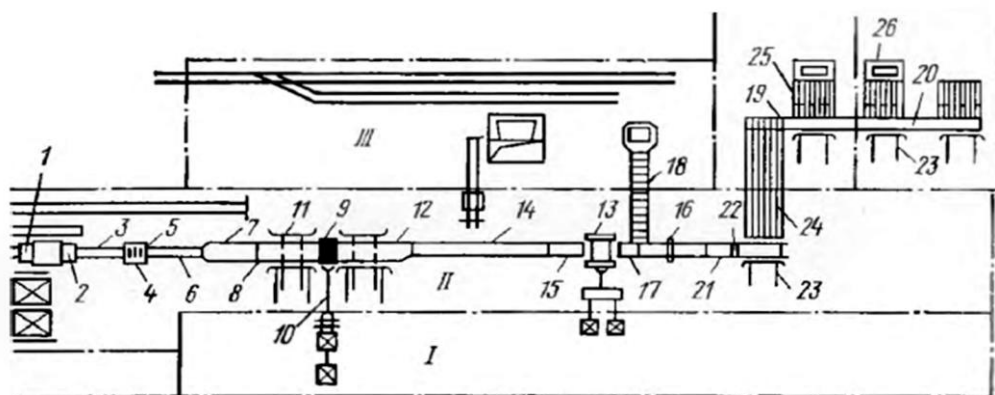


Рис.1.2 Расположение цепи аппаратов блюминга

На главном участке находится слитковоз 1, пружинно-гидравлический упор 2, приемный рольганг 3 со встроенным в него стационарным опрокидывателем, сталкивателем и упором, башенные весы 4 с поворотным механизмом для слитков, рольганг - весы 5 и подводящий рольганг 6. Механизмы этого участка обеспечивают подачу слитков от нагревательных колодцев, их укладку на приемный рольганг, автоматическое взвешивание слитков и разворот их (при необходимости) в горизонтальной плоскости на 180° для подачи в рабочую клетку стана. При обслуживании близких к стану колодцев или при выходе из строя слитковоза слитки на рольганг укладывает встроенный стационарный опрокидыватель. При подаче слитков слитковозом стационарный опрокидыватель беспрепятственно пропускает слитки, транспортируемые по рольгангу к стану. Слитки массой до 16 т автоматически взвешиваются с точностью  $\pm 25$  кг башенными весами, расположенными над рольгангом весов. Встроенный в весы механизм при необходимости разворачивает слитки на 180°. Масса слитков регистрируется специальным прибором с автоматическим суммированием массы. Показания приборов передают на пульт управления. В состав линии рабочей клетки входят следующие агрегаты и механизмы:

									Лист
									10
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					

- двухвалковая реверсивная клеть - 9;
- устройство для перевалки; универсальные шпиндели - 10;
- раскатные рольганги 7 перед станом;
- рабочие рольганги 8 перед станом и за ним;
- манипулятор с кантователями - 11;
- механизированное устройство для уборки крупного скрапа из-под рабочей клетки;
- раскатной рольганг 12 за станом.

Уравновешивание верхних валка и шпинделя грузовое. С каждой стороны клетки вмонтировано по два станинных ролика на сферических роликоподшипниках. Привод всех роликов индивидуальный. Рабочая клетка снабжена быстроходным нажимным устройством, обеспечивающим перемещение верхнего валка. Перед клетью и за ней установлены линейки манипулятора с безредукторным приводом от специальных тихоходных электродвигателей. Манипуляторы снабжены кантователями с дифференциальными приводами. Установленные за блюмингом, прокатывающим слитки массой до 16 т, кривошипные ножницы 13 имеют усилие резания 10 Мн. В состав оборудования участка ножниц также входят отводящие рольганги 14, рольганг перед ножницами 15, сталкиватель обрезков, передвижной упор 16, отодвигающийся рольганг 17 с приводом и конвейер уборки обрезков 18 с ямами для их охлаждения. На ножницах с нижним резом, совершающих 10 резов в минуту, предусмотрены рычажный прижим металла и предварительный подъем металла над рольгангом. Привод ножниц осуществляется через шпиндельное соединение и редуктор от двух электродвигателей общей мощностью до 1300 кВт, расположенных в машинном зале. Участок уборки готовой продукции включает транспортные рольганги 19 и 20, автоматические весы 21 для

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		11

взвешивания готовой продукции, клеймителя 22, сталкивателей 23, штабелирующих столов 25, стеллажей с карманами 26 или других уборочных средств. При наличии линии уборки в пролете, параллельном становому пролету, блюмы или слябы убираются с рольгангов линии стана цепным транспортером 24 со сталкивателем.

### 1.3 Техническая характеристика объекта проектирования

Рабочая клеть как исполнительный механизм технологической машины (прокатного стана) оснащена кроме рабочего инструмента (валков) различными устройствами и системами для получения качественного проката.

К таким системам и устройствам относятся:

- устройства для изменения раствора валков (с целью получения заданного обжатия полосы);
- устройства для осевой установки и калиброванных валков с целью совмещения ручьев калибров или для осевой сдвижки и фиксации профилированных валков с гладкой бочкой с целью снижения поперечной разнотолщинности прокатываемых полос;
- устройства для уравнивания и охлаждения валков;
- устройства для направления полосы на входе и выходе из рабочей клетки (в том числе для предотвращения окова валков).

По характеру важности из перечисленных механизмов можно считать самыми главными устройство установки валков (нажимные механизмы).

На рис. 1.3, а приведены кинематические схемы нажимных механизмов, а рис. 1, б – общий вид нажимного механизма для блюмингов 1150 конструкции УЗТМ.

Механизм нажимного устройства прокатной клетки блюминга имеет следующие технические характеристики:

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		12

Скорость передвижения валков — до 200 мм/с;  
 Средний диаметр резьбы нажимного винта — 440 мм;  
 Шаг нажимного одноходного винта с трапецеидальной резьбой — 48 мм;  
 Диаметр опорной пяты нажимного винта — 440 мм;  
 Угол подъема резьбы —  $\alpha = 2^\circ 10'$ ;

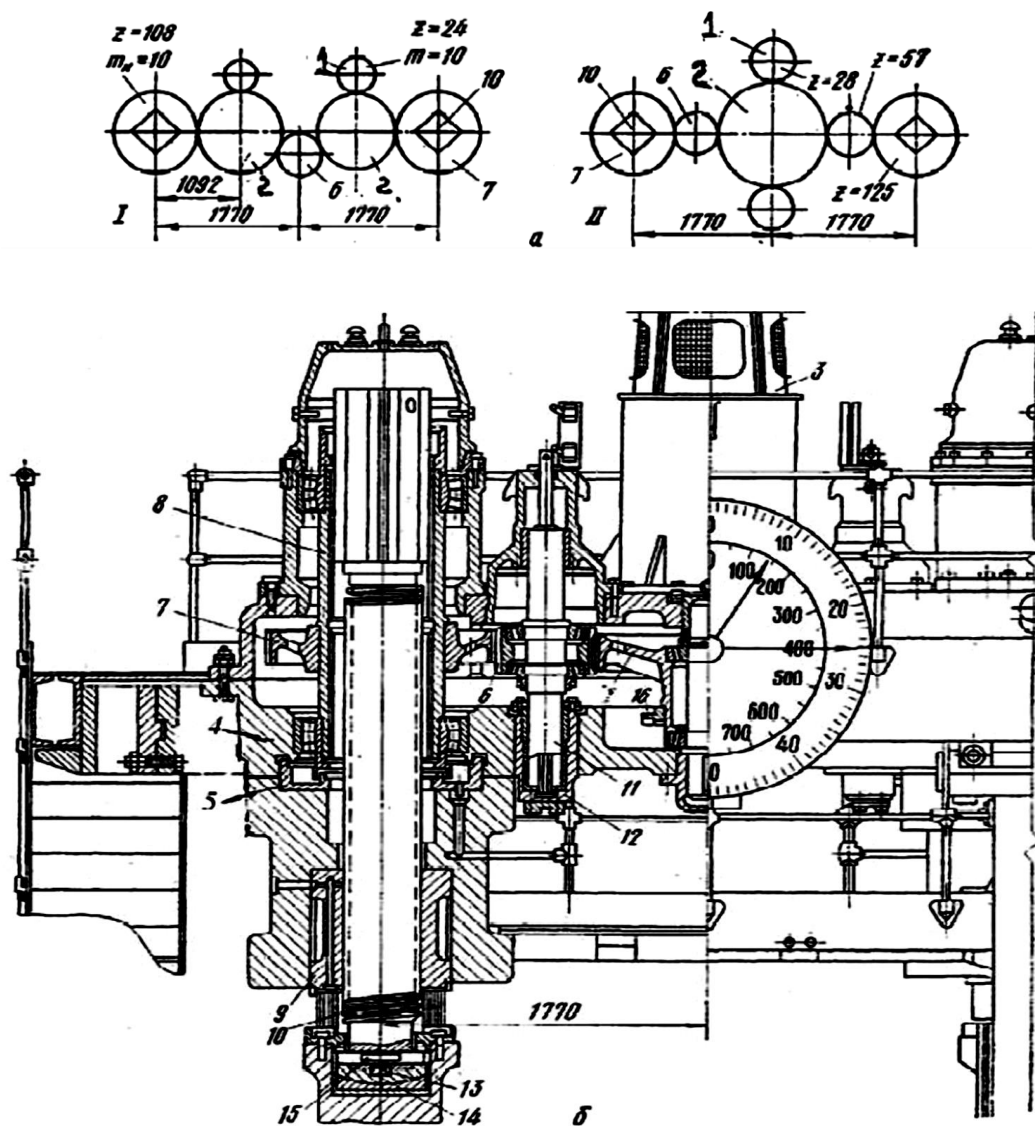


Рис. 1.3 Быстроходные устройства для установки валков блюминга:  
 а — кинематические схемы нажимных валков;  
 б — общий вид нажимного механизма:

Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат
------	-------	----------	---------	-----



1 – шестерня на валу электродвигателя; 2 – паразитные колеса; 3 – электродвигатель; 4 – литой стальной корпус; 5 – установочное кольцо; 6 – зубчатые колеса; 7 – зубчатый венец; 8 – ступица с квадратным отверстием; 9 – нажимная гайка; 10 – нажимной винт; 11 – плунжер; 12 – гидроцилиндр; 13 – торцевая шпонка; 14 – сферическая пята; 15 – штифт; 16 – промежуточная коническая передача.

Момент инерции всего механизма	– 17.9 кгм <sup>2</sup> ;
Передаточное число редуктора	– 4.5;
КПД передачи	– $\eta = 0.95$ ;
Уравновешивание верхнего валка	– грузовое;
Усилие уравновешивания	– 150 кН;
Привод нажимных винтов	– осуществляется от двух двигателей;
Режим работы механизма	– повторно-кратковременный при 15–25 включениях в минуту.

Нажимные устройства этой конструкции по сравнению с другими аналогичными устройствами, обладают следующими преимуществами:

- отсутствие быстроизнашивающихся червячных передач, соединительных муфт и муфт переключения;
- уменьшение возможности само отвинчивания винтов;
- увеличение мощности электродвигателей, что обеспечивает повышение производительности стана за счет увеличения скорости перемещения нажимных винтов и соответствующего уменьшения пауз между пропусками.

Поскольку именно эти механизмы выполняют основную технологическую задачу, определения усилий обжатия конечной заготовки и получение результирующей готовой продукции, применение надежной современной технологии обжатия крайне важно для производства.

Сейчас для механизмов нажатия в прокатных клетях традиционно

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
						14
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		

используется гидравлический привод. Но одновременно известно, что такому приводу присущий ряд недостатков, основным из которых являются подтекание масла гидравлической системы.

Альтернативой может служить быстроходное устройство для установки валков блюминга 1150 в сочетании с современным асинхронным электрическим приводом и векторным управлением при использовании энергосберегающих технологий.

Поэтому проект направлен на разработку современного электропривода механизма установки валков, как одной из возможно лучших реализаций по состоянию на сегодняшний день.

#### **1.4 Требования к системе электропривода**

Работа нажимного механизма характеризуется периодически изменяющейся ударной нагрузкой, что предполагает обратить внимание на динамику процессов в электроприводе. То есть следует определить пределы возможной колебательности системы или определится с возможностью получения экспоненциальной формой переходных процессов в приводе.

Величина скорости вращения двигателя задается технологами и определяется в виде технического задания на проектирование. Однако особенностью для электрического привода такого механизма есть использование передачи винт-гайка, которая в какой-то степени усложняет электромеханическую систему.

Технология работы прокатной клетки предполагает движение валков в двух направлениях. Поэтому проектируемая система электропривода должна быть реверсивной. Помимо этого, обеспечить равнотолщинность готовой продукции возможно при стабилизации скорости вращения и позиции валков. Как следствие, к числу требований к приводу предъявляется необходимость в регулировании выше названных координат.

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		15

Предварительное изучение нажимных механизмов выявил необходимость высокого быстродействия.

Условия эксплуатации блюмингов определяются, главным образом, температурным режимом работы в горячих цехах. То есть одно из требований к оборудованию его защищенность от повышенной температуры. Параллельно не следует забывать о вопросе запыленности и повышенной влажности в прокатном производстве. Очевидно, что эти факторы также являются актуальными.

					ЕП.18.15.1.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		16

# ГЛАВА 2.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ

# ЭЛЕКТРОПРИВОД

					ЕП.18.15.2.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		17

## 2.1 Предварительный расчет нажимного механизма

Выполним расчет нажимных винтов и расчет моментов электродвигателей быстроходного нажимного механизма блюминга 1150.

Исходные данные:

- Максимальная осевая сила на нажимной винт при прокатке  
–  $P = 8.5 \text{ МН}$ ;
- Передаточное число редуктора  
–  $i=4.5$ ;
- Максимальная скорость перемещения винта по вертикали  
–  $V= 0.2 \text{ м/с}$ ;
- режим работы механизма – повторно-кратковременный при  
15–25 включениях в минуту;
- Нажимной винт имеет упорную резьбу УП440 мм с шагом  
–  $S = 48 \text{ мм}$ ;
- Наружный диаметр резьбы  
–  $d_0 = 440 \text{ мм}$ ;
- Внутренний диаметр резьбы  
–  $d_1 = 358 \text{ мм}$ ;
- Средний диаметр резьбы  
–  $d_{cp} = 404 \text{ мм}$ ;
- Угол подъема резьбы  
–  $\alpha = 2^\circ 10'$ ;
- сечения нижнего опорного конца винта  
–  $d_n = 350 \text{ мм}$ .

Определим напряжение сжатия в сечении нижнего опорного конца винта, имеющего наименьший диаметр  $d_n = 350 \text{ мм}$ :

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 8,5 \cdot 10^6}{\pi \cdot 350^2} = 883,3 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 88.3 \text{ МПа.} \quad (2.1)$$

Напряжение кручения в теле винта при  $M_B = 6.1 \text{ кН} \cdot \text{м}$ :

$$\tau = \frac{M_B}{0,2d_1^3} = \frac{6.1 \cdot 10^6}{\pi \cdot 358^3} = 664.7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 664.7 \text{ МПа.} \quad (2.2)$$

					ЕП.18.15.2.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		18

Материал винта – сталь 40ХН.

Нажимная гайка имеет высоту  $H = 720$  мм и наружный диаметр  $D = 750$  мм; число витков резьбы  $z = H/S = 720/48 = 15$ .

Напряжение смятия между витками винта и гайки:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi(d_0^2 - d_1^2)z} = \frac{4 \cdot 8,5 \cdot 10^6}{\pi(440^2 - 358^2) \cdot 15} = \frac{11H}{\text{мм}^2} = 11 \text{ МПа.} \quad (2.3)$$

Напряжение смятия по площади соприкосновения гайки со станиной:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi(D^2 - d_{\text{отв}}^2)} = \frac{4 \cdot 8,5 \cdot 10^6}{\pi(750^2 - 470^2)} = 32 \frac{H}{\text{мм}^2} = 32 \text{ МПа.} \quad (2.4)$$

Материал гайки – Бр.Аж9 – 4Л,  $[\sigma] \approx 80$  МПа.

В периоды пауз между пропусками металла через валки на торцы нажимных винтов действует сила от грузового уравновешивания верхнего валка (сила уравновешивания). Эта сила, действующая на один винт, составляет 150 кН. Момент, необходимый для вращения винта в период пауз, найдем по формуле (2) при  $\mu_{\text{п}} = 0,1$ ;  $d_{\text{п}} = 520$  мм;  $\mu_{\text{р}} = 0,08$ ;  $\phi = 4^\circ 34'$ :

$$M_{\text{в}} = P_{\text{м}} \left( \mu_{\text{п}} \frac{d_{\text{п}}}{3} + \frac{d_{\text{ср}}}{2} \text{tg}(\alpha + \varphi) \right). \quad (2.5)$$

где  $\mu_{\text{п}}$  – коэффициент трения в пяте;  $d_{\text{п}}$  – диаметр пяты нажимного винта;  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр резьбы;  $\text{tg}\varphi = \mu_{\text{р}}$ ,  $\mu_{\text{р}}$  – коэффициент трения в резьбе между гайкой и винтом (при нормальной смазке  $\mu_{\text{р}} = 0,1$ );  $\alpha$  – угол подъема резьбы;  $\varphi$  – угол трения в резьбе.

При опускании винта:

					ЕП.18.15.2.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		19

$$M'_B = 150 \left( 0.1 \cdot \frac{0.52}{3} + \frac{0.404}{2} \operatorname{tg}(2^\circ 10' + 4^\circ 34') \right) =$$

$$= 150(0,017 + 0.202 \cdot 0.118) = 6.2 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.6)$$

При подъеме винта:

$$M''_B = 150 \left( 0.1 \cdot \frac{0.52}{3} + 0,202 \operatorname{tg}(4^\circ 34' + 2^\circ 10') \right) =$$

$$= 150(0.017 + 0.202 \cdot 0.042) = 3.9 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.6)$$

Согласно выполненным расчетам строим нагрузочную диаграмму и тахограмму механизма:

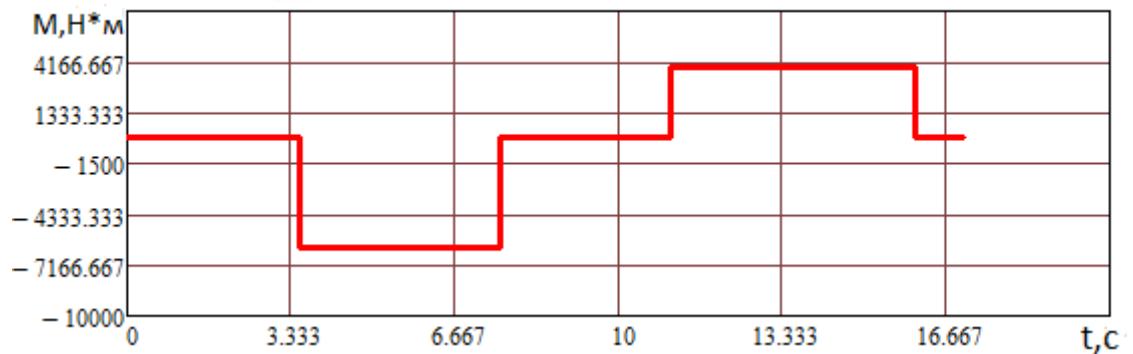


Рис. 2.1 Нагрузочная диаграмма механизма

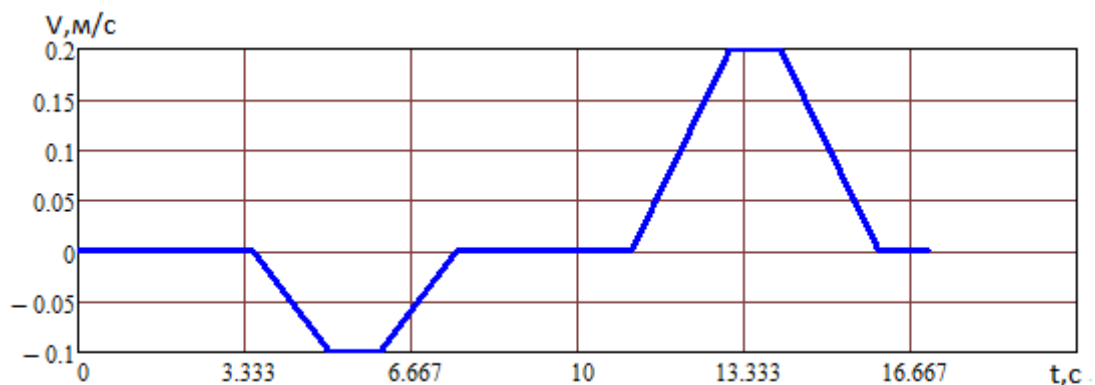


Рис. 2.2 Диаграмма скорости механизма

Между двигателем и нажимным винтом имеется уникальная зубчатая передача с передаточным отношением  $i = 4.5$ ; КПД передачи  $\eta = 0.95$ .

Найдем максимально допустимую скорость вращения вала двигателя согласно технологическому процессу при  $V=200$  мм,  $i=4.5$ ,  $S=48$ мм:

$$n_{max} = \frac{V \cdot i \cdot 60}{S} = \frac{200 \cdot 4.5 \cdot 60}{48} = 1125 \frac{\text{об}}{\text{мин}}. \quad (2.7)$$

где,  $V$  – Максимальная скорость перемещения винта по вертикали,  $i$  – передаточное число редуктора,  $S$  – шаг упорной резьбы нажимного винта.

Выполним предварительный расчет мощности двигателя:

$$P_{дв} = \frac{2 \cdot \pi \cdot V \cdot M'_B \cdot \eta}{S} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 200 \cdot 6.2 \cdot 0.95}{48} = 151.7 \text{ кВт}. \quad (2.8)$$

Выбираю двигатель 4А315S4У3 мощность  $P=160$  кВт с частотой вращения  $n=1500$  мин<sup>-1</sup>. Напряжение 220/380 В. Кратность пускового момента  $M_{пуск}/M_{ном}=1$ . Момент инерции ротора  $J_p=3.1$  кг·м<sup>2</sup>.

Таблица.2.1 – Параметры асинхронного двигателя 4А180М6У3

$P_{ном}$	$S_{ном}$	$\eta_{ном}$	$\cos \varphi$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$S_k$	$I_{п}/I_{ном}$	$J_d$
кВт	%	%		%	кГм <sup>2</sup>			
160	2	93.5	0.91	1.9	1	6,5	7	3,1

Таблица.2.2 – Параметры схемы замещения двигателя 4А160М6У3

$X_m^*$	$R_1^*$	$x_1^*$	$R_2^*$	$x_2^*$
4,6	0,018	0.107	0.017	0.15



## 2.2 Проверка двигателя по теплу

Выполним уточняющий расчет двигателя связанный с расчетом двигателя по теплу.

Моменты на винте (статические от постоянной нагрузки  $P = 150$  кН), приведенные к валу электродвигателя:

$$M'_{ст} = \frac{M_{в} \cdot \eta}{i} = \frac{6,2 \cdot 0,95}{4,5} = 1,304 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.9)$$

$$M''_{ст} = \frac{M_{в} \cdot \eta}{i} = \frac{3,9 \cdot 0,95}{4,5} = 0,817 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (2.10)$$

При повторно-кратковременном режиме работы электродвигатели работают при часто повторяющихся ускорениях и замедлениях. Для разгона вращающихся масс от электродвигателя потребуются дополнительные моменты и мощность. Определим этот дополнительный момент.

Моменты инерции (в  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ): ротора электродвигателя – 3.1 (по каталогу); промежуточных шестерен – 220; нажимного винта – 80.

Приведенный к валу электродвигателя сумарный момент инерции вращающихся масс:

$$J = j_p + \frac{j_i + j_{нв}}{i^2} = 3,1 + \frac{220 + 80}{4,5^2} = 17,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.11)$$

В период разгона и торможения электродвигатель способен работать с угловым ускорением и развивать динамический момент:

при опускании нажимного винта при  $\varepsilon = 30 \text{ с}^{-2}$ :

$$M'_{дин} = J_{\varepsilon} = 17,9 \cdot 30 = 537 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 0,54 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad (2.12)$$

									Лист
									22
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат	ЕП.18.15.2.ПЗ				

при подъеме нажимного винта при  $\varepsilon = 57 \text{ с}^{-2}$

$$M''_{\text{дин}} = J_{\varepsilon} = 17.9 \cdot 57 = 1021 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 1,02 \text{кН} \cdot \text{м}. \quad (2.13)$$

Находим пусковые моменты на валу электродвигателя:

при опускании нажимного винта в момент пуска

$$M'_{\text{дв1}} = M'_{\text{ст}} + M'_{\text{дин}} = 1,3 + 0,54 = 1,84 \text{кН} \cdot \text{м}; \quad (2.14)$$

при опускании нажимного винта в момент торможения:

$$M'_{\text{дв2}} = M'_{\text{ст}} - M'_{\text{дин}} = 1,3 - 0,54 = 0,77 \text{кН} \cdot \text{м}; \quad (2.15)$$

при подъеме нажимного винта в момент пуска:

$$M''_{\text{дв1}} = M''_{\text{ст}} + M''_{\text{дин}} = 0,817 + 1,02 = 1,838 \text{кН} \cdot \text{м}; \quad (2.16)$$

при подъеме нажимного винта в момент торможения:

$$M''_{\text{дв2}} = M''_{\text{ст}} - M''_{\text{дин}} = 0,817 - 1,02 = -0,204 \text{кН} \cdot \text{м}. \quad (2.17)$$

Согласно полученным данным строим нагрузочную диаграмму двигателя:

					ЕП.18.15.2.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		23

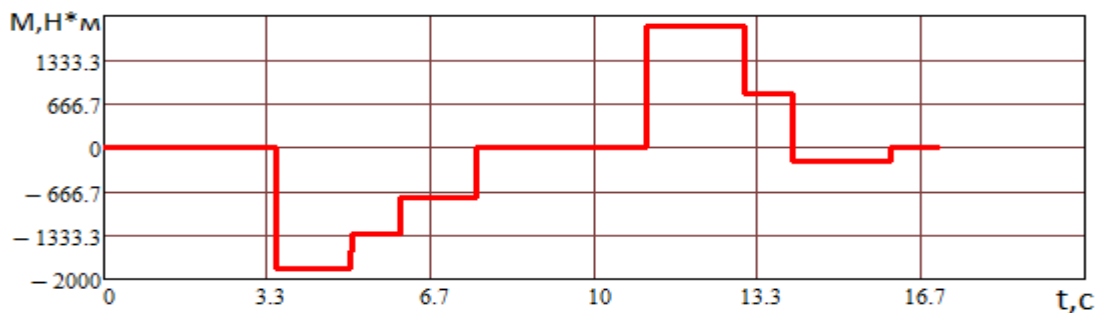


Рис. 2.3 Нагрузочная диаграмма двигателя

Как видно, при повторно-кратковременном режиме работы электродвигателя основную нагрузку составляют динамические, а не статические моменты.

Пользуясь нагрузочной диаграммой находим эквивалентный момент:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_0^2 \cdot t_1 + M'_{\text{дв1}}{}^2 \cdot t_2 + M'_{\text{ст}}{}^2 \cdot t_3 + M'_{\text{дв2}}{}^2 \cdot t_4 + M_0^2 \cdot t_5 + M''_{\text{дв1}}{}^2 \cdot t_6 + M''_{\text{ст}}{}^2 \cdot t_7 + M''_{\text{дв2}}{}^2 \cdot t_8}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8}}$$

$$= \sqrt{\frac{0^2 \cdot 3.5 + 1841^2 \cdot 1.54 + 1304^2 \cdot 1 + 767^2 \cdot 1.54 + 0^2 \cdot 3.5 + 1838^2 \cdot 1.98 + 817^2 \cdot 1 + (-204)^2 \cdot 1.98}{3.5 + 1.54 + 1 + 1.54 + 3.5 + 1.98 + 1 + 1.98}}$$

$$= 0.976 \text{ кН} \cdot \text{м.} \quad (2.18)$$

Рассчитаем номинальный момент выбранного двигателя:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_{\text{НОМ}}}{n} = \frac{30}{3.14} \cdot \frac{160000}{1500} = 1.018 \text{ кН} \cdot \text{м.} \quad (2.19)$$

Поскольку номинальный момент выбранного двигателя  $M_{\text{НОМ}} = 1.018 \text{ кН} \cdot \text{м}$  больше момента эквивалентного  $M_{\text{экв}} = 0.975 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , то двигатель по теплу выбран правильно.

### 2.3 Проверка двигателя по мощности

Поскольку двигатель работает в повторно-кратковременном режиме работы, следует выполнить уточняющий расчет мощности двигателя с учетом продолжительности включения.

Находим время производственного цикла и время работы механизма:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 = 3.5 + 1.54 + 1 + 1.54 + 3.5 + 1.98 + 1 + 1.98 = 19.54 \text{ сек}; \quad (2.20)$$

$$T_{\text{цр}} = t_2 + t_3 + t_4 + t_6 + t_7 + t_8 = 1.54 + 1 + 1.54 + 1.98 + 1 + 1.98 = 9.04 \text{ сек}. \quad (2.21)$$

Отсюда продолжительность включения:

$$PВ_{\text{рас}} = \frac{T_{\text{цр}}}{T_{\text{ц}}} \cdot 100\% = \frac{9.04}{19.54} \cdot 100\% = 46.24\%. \quad (2.22)$$

Расчетная мощность двигателя с учётом коэффициента запаса  $k_3 = 1.1$  и КПД двигателя  $\eta_d = 0,935$  равна:

$$P_{\text{рас}} = k_3 \cdot \frac{M_{\text{экр}} \cdot n \cdot \pi}{30 \cdot \eta_d \cdot 1000} = 1.1 \cdot \frac{975 \cdot 1500 \cdot 3.14}{30 \cdot 0.935 \cdot 1000} = 180.3 \text{ кВт}. \quad (2.23)$$

Продолжительность включения имеет пять стандартных величин ПВ: 15%, 25%, 40%, 60%, и 100%. Поскольку продолжительность включения данного электродвигателя не равна одной из стандартных величин, то требуемая мощность электродвигателя необходимо скорректировать по формуле:

					ЕП.18.15.2.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		25

$$P_{\text{станд}} = P_{\text{раз}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{рас}}}{ПВ_{\text{станд}}}} = 193.45 \sqrt{\frac{46.24}{60}} = 158.3 \text{ кВт.} \quad (2.24)$$

где  $ПВ_{\text{станд}}$  – ближайшее подходящее значение ПВ,  $ПВ_{\text{рас}}$  – расчет продолжительности включения механизма.

Поскольку мощность двигателя с учётом продолжительности включения  $P_{\text{станд}}=158.3$  кВт меньше мощности выбранного двигателя  $P_{\text{д}}=160$  кВт, то по мощности двигатель выбран верно.

## 2.4 Проверка двигателя на перегрузочную способность

Работа стана сопровождается большими пусковыми нагрузками на валу электродвигателе в момент передвижения валков. Основную нагрузку данного механизма составляют пиковые динамические нагрузки в момент начала опускания нажимного винта. Соответственно это создает необходимость выполнить проверку двигателя на перегрузочную способность.

Выполним расчет максимального критического момента двигателя при  $\lambda=1,9$  (по каталогу):

$$M_{\text{макс}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda = 1018 \cdot 1.9 = 1.935 \text{ кН.} \quad (2.25)$$

Поскольку максимальный момент двигателя  $M_{\text{макс}} = 1.93$  кН больше момента на валу двигателя при опускании нажимного винта в момент пуска  $M'_{\text{дв1}} = 1.84$  кН, то двигатель по перегрузочной способности выбран правильно.

					ЕП.18.15.2.ПЗ	Лист
						26
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		

## 2.5 Выбор преобразовательного устройства

Преобразовательное устройство выполняет функции преобразования электроэнергии питающей сети к таким значениям, которые необходимы для нормальной работы приводного двигателя, а также для регулирования скорости работы двигателя. Как известно из всех способов регулирования и изменения направления скорости, использование преобразователя частоты с векторным управлением является одним из самых современных способов создания быстродействующего регулируемого электропривода переменного тока. В качестве преобразовательного устройства принят преобразователь частоты, на базе автономного инвертора напряжения на IGBT-транзисторах с векторным управлением.

При выборе преобразователя частоты необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- высокая надежность при любых режимах работы;
- большой диапазон регулирования;
- простота системы управления;
- минимально возможная стоимость.

В качестве преобразователя электроэнергии выбираю преобразователь частоты ALTIVAR 71 французской фирмы Schneider Electric.

Система управления данного преобразователем содержит встроенный пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор, параметры которого вводятся с цифрового пульта управления. Введя необходимые параметры можно настроить этот регулятор для регулирования скорости движения прокатной клетки блюминга. Задание скорости, и величину обратной связи можно осуществлять в аналоговом виде, используя многофункциональные аналоговые входы. Также преобразователь позволяет обеспечить плавный разгон и торможение двигателя по заданным временам пуска и торможения, что является необходимым для механизма данного типа. Встроенные модули защит содержат максимально-токовую защиту двигателей, защиту от

									Лист
									27
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					

перегрузки схемы по напряжению, защиту от перегрева транзисторов, защиту от перегрузки двигателя и другие виды защит.

Выбор преобразователя частоты необходимо осуществлять согласно номинальной электрической мощности и номинального тока двигателя.

Расчетная мощность преобразователя:

$$P_p = \frac{P_n}{\eta_d} = \frac{160}{0.935} = 171.1 \text{ кВт.} \quad (2.26)$$

Расчетный ток двигателя:

$$I_n = \frac{P_n}{3 \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{160}{3 \cdot 380 \cdot 0.91} = 154.23 \text{ А.} \quad (2.27)$$

Согласно этому по каталогу выбираем преобразователь частоты «ATV71HC20N4».

Таблица 2.3 – Номинальные данные на преобразователь

Мощность преобразователя	Ном. напряжение питания	Частота питания	Линейный ток	Число фаз питания	Ном. выходной ток	Макс. переходной ток
кВт	В	Гц	А		А	А
200	380...480	50...60	357	3	387	638

Данный преобразователь обеспечивает следующие режимы работы и управления приводных машин и механизмов:

- плавный пуск;

- длительную работу в заданном диапазоне частот вращения и нагрузок;
- торможение и остановку;
- защиту электрического и механического оборудования в аварийных и нештатных режимах.

Эффективность применения такого электропривода обусловлена:

- высоким качеством статических и динамических характеристик;
- высокими энергетическими показателями;
- гибкой настройкой рабочих параметров и режимов;
- развитым интерфейсом и адаптивностью к различным внешним системам управления и автоматизации;
- высокой монтажно-наладочной готовностью;
- простотой и удобством управления и обслуживания.

Схема подключения преобразователя частоты Altivar 71 и электродвигателя 4A180M6У3 представлена на рис. 2.4:

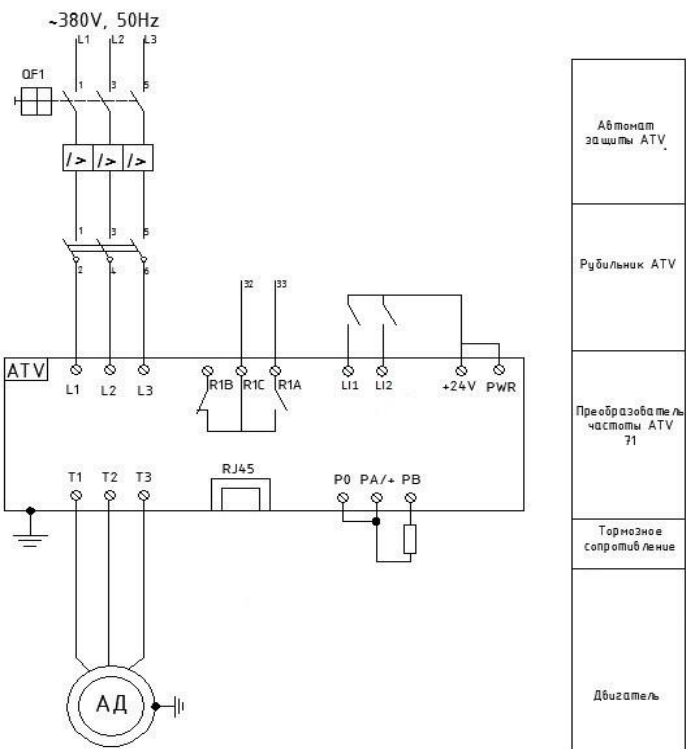


Рис.2.4 Схема подключения преобразователя частоты и электродвигателя



**ГЛАВА 3.**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ**  
**ДИНАМИКИ**  
**ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

					ЕП.18.15.3.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		30

### 3.1 Общие сведения

Известны несколько методов частотного управления, которые позволяют решить различные задачи при регулировке скорости и изменения момента, среди которых два основных – векторный и скалярный.

Каждый из них имеет свои характерные особенности, на которых следует остановиться более подробно. Особенность скалярного управления заключается в его распространенности, а область применения связана с приводами насосов и вентиляторов. Кроме этого, частотные преобразователи со скалярным методом управления используют там, где важно поддерживать определенный технологический параметр. Им может быть, например, давление в трубопроводе. Изменение амплитуды, а также частоты питающего напряжения выступает в качестве основного принципа, на котором основывается данный метод. При этом используется закон  $U/f=\text{const}$ . Наибольший диапазон для регулирования скорости составляет 1:10. Дополнительные особенности скалярного метода заключаются в свойственной ему легкости при реализации. Существует также и недостаток, который заключается в том, что нет возможности точно регулировать скорость вращения вала. Еще одна особенность – на валу двигателя частотный преобразователь со скалярным управлением не дает возможности контролировать момент.

Векторный метод управления синхронными и асинхронными двигателями обеспечивает формирование не только гармонических токов и напряжений фаз, но и обеспечивает управление магнитным потоком ротора или моментом на валу электродвигателя. Такое управление применяется в случае, когда в процессе эксплуатации нагрузка может меняться на одной и той же частоте, т.е. нет четкой зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, а также в случаях, когда необходимо получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах.

					ЕП.18.15.3.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		31

Системы векторного управления разделяются на два класса – бездатчиковые и с обратной связью. Применение бездатчиковых систем возможно, в случаях, когда скорость изменяется не более чем 1:100, а точность поддержания составляет не более чем  $\pm 0,5\%$ . При исходных аналогичных показателях и диапазоне регулирования 1:1000 и точности  $\pm 0,01\%$  принято использовать системы с обратной связью.

Применительно для задачи, решаемой в проекте и учёте особенностей работы механизма выбран векторный метод управления как наиболее подходящий. Преимуществами данного метода является быстрота реакции относительно изменения нагрузки, а в области малых частот вращения двигателя характеризуется плавностью, отсутствием рывков. Положительным отличием векторного управления является обеспечение на валу двигателя при нулевой скорости номинального момента, а также регулировка скорости с высокой точностью.

### 3.2 Расчет параметров векторной системы управления

Структурная схема векторной системы управления скорости асинхронного двигателя в системе отсчета, связанной с вектором потокосцепления ротора  $\Psi_2$  представлена на рисунках 3.1 и 3.2.

Из рис.2 видно, что объект управления характеризуется наличием нелинейных перекрестных связей между

Для их компенсации в систему автоматического регулирования вводятся нелинейные связи, воспроизводящие функциональные зависимости, обратные зависимостям объекта управления. каналами управления. Это обеспечивает заданные динамические характеристики системы автоматического регулирования, а в некоторых случаях и ее устойчивость.

					ЕП.18.15.3.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		32

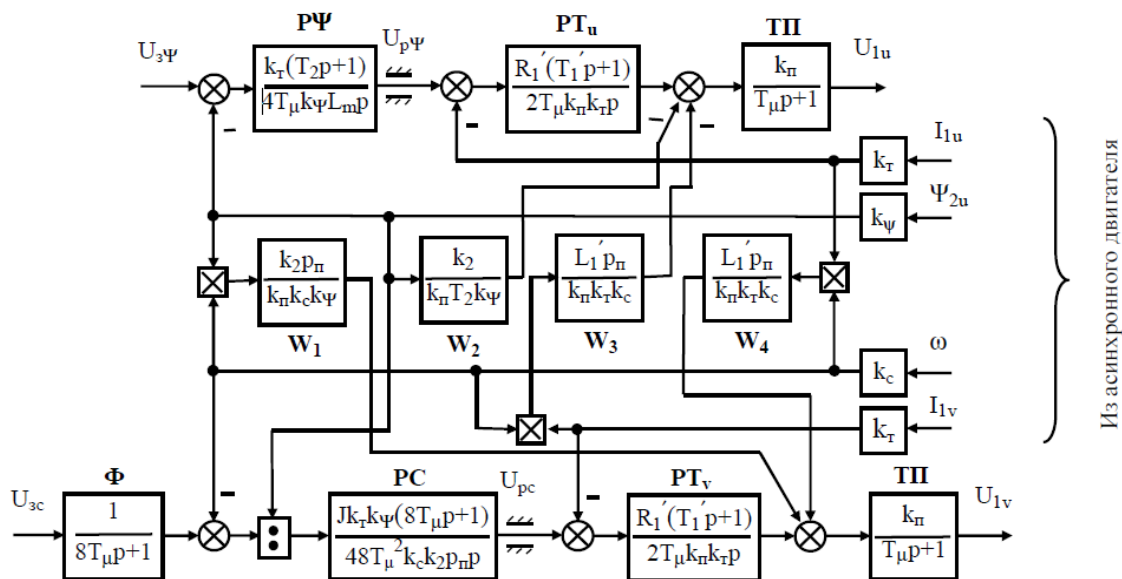


Рис.3.1 Структурная схема векторной системы управления скоростью асинхронного двигателя

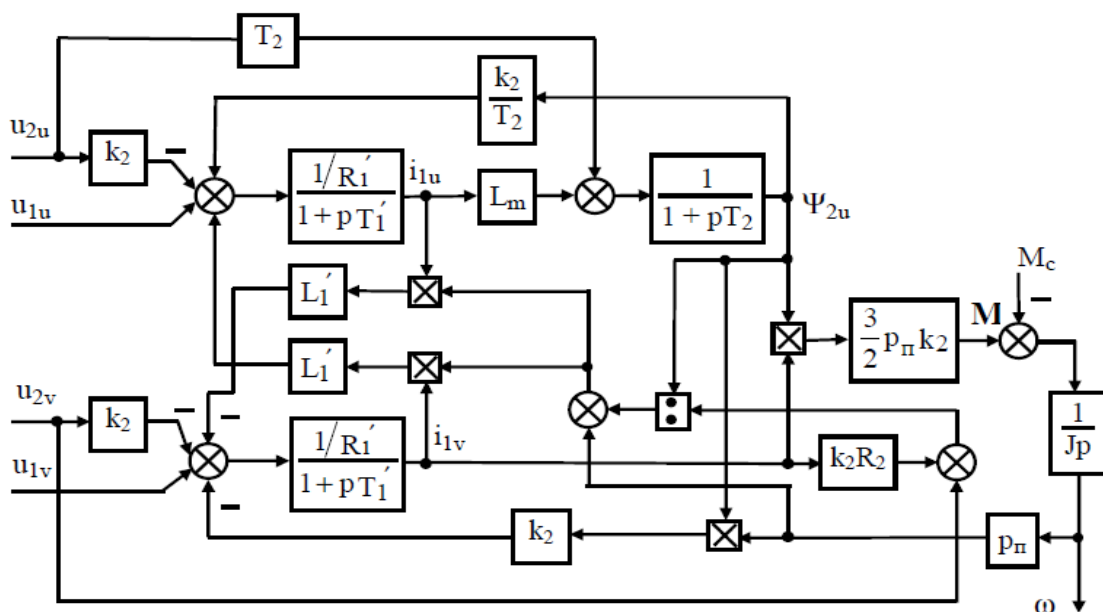


Рис.3.2 Структурная схема АД в системе отсчета, связанной с вектором потокосцепления ротора  $\Psi_2$

Силовой преобразователь представлен двумя непрерывными апериодическими звеньями в системе отсчета, связанной с вектором потокосцепления ротора. Поэтому при моделировании отсутствует

необходимость осуществлять прямое и обратное преобразования координат, которые в действительности присутствуют в реальном электроприводе.

Приведенные на рисунках переменные рассчитываются исходя из параметров асинхронного двигателя следующим образом:

$P_n = 160$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U = 380$  – номинальное фазное напряжение электродвигателя, В;

$n_0 = 1500$  – синхронная скорость поля статора, об/мин;

$S_n = 0.02$  – номинальное скольжение электродвигателя;

$k_{pd} = 0.935$  – КПД электродвигателя;

$\cos \varphi = 0.91$  – номинальный коэффициент мощности электродвигателя;

$f = 50$  – номинальная частота питающей сети, Гц;

$r_1 = 0.018$  – относительное активное сопротивление статора, о.е.;

$r_2 = 0.017$  – относительное активное сопротивление ротора, о.е.;

$x_1 = 0.107$  – относительная индуктивность обмотки статора, о.е.;

$x_2 = 0.15$  – относительная индуктивность обмотки ротора, о.е.;

$x_m = 4,6$  – относительное индуктивное сопротивление цепи намагничивания, о.е.;

$J_d = 17.9$  – момент инерции системы с двигателем, Н·м;

$w_0 = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314.15$  – угловая частота сети;

$p = \frac{3000}{n_0} = \frac{3000}{1500} = 2$  – число пар полюсов электродвигателя;

$w_{max} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157$  – максимальная скорость вращения двигателя, рад/с;

					ЕП.18.15.3.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		34

$$I_{fn} = \frac{P_n \cdot 1000}{3 \cdot U \cdot k_{pd} \cdot \cos \varphi} = \frac{160 \cdot 1000}{3 \cdot 380 \cdot 0,935 \cdot 0,91} = 164,96 \text{ – номинальный}$$

фазный ток статора, А;

$$M_n = \frac{9,55 \cdot P_n \cdot 1000}{n_0 \cdot (1 - s_n)} = \frac{9,55 \cdot 160 \cdot 1000}{1500 \cdot (1 - 0,02)} = 1039 \text{ – номинальный момент}$$

электродвигателя, Н·м;

$$Z_b = \frac{U}{I_{fn}} = \frac{380}{164,96} = 2,3 \text{ – базовое сопротивление, Ом;}$$

$$R_1 = r_1 \cdot Z_b = 0,018 \cdot 2,3 = 0,0415 \text{ – активное сопротивление}$$

обмотки статора ;

$$R_2 = r_2 \cdot Z_b = 0,017 \cdot 2,3 = 0,0392 \text{ – активное сопротивление}$$

обмотки ротора;

$$X_1 = x_1 \cdot Z_b = 0,107 \cdot 2,3 = 0,24 \text{ – индуктивное сопротивление}$$

обмотки статора;

$$X_2 = x_2 \cdot Z_b = 0,15 \cdot 2,3 = 0,345 \text{ – индуктивное сопротивление}$$

обмотки ротора;

$$X_m = 4,6 \cdot 2,3 = 10,59 \text{ -взаимная индуктивность;}$$

$$L_1 = \frac{X_1}{w_0} = \frac{0,24}{314,15} = 0,00078 \text{ – индуктивность рассеивания обмоток}$$

статора, Гн;

$$L_2 = \frac{X_2}{w_0} = \frac{0,345}{314,15} = 0,0011 \text{ - индуктивность рассеивания обмоток}$$

					ЕП.18.15.3.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		35

ротора , Гн;

$L_{11} = L_1 + L_m = 0,00078 + 0,0337 = 0,0345$  – полная  
индуктивность обмотки статора, Гн;

$L_{22} = L_2 + L_m = 0,0011 + 0,0337 = 0,0348$  – полная индуктивность  
обмотки ротора, Гн;

$k_2 = \frac{L_m}{L_{22}} = \frac{0,0337}{0,0348} = 0,968$  – коэффициент электромагнитной связи  
ротора;

$L_{ekv} = L_1 + k_2 \cdot L_2 = 0,00078 + 0,968 \cdot 0,0011 = 0,0018$  -  
эквивалентная индуктивность рассеивания двигателя;

$R_{ekv} = R_1 + (k_2^2) \cdot R_2 = 0,0415 + 0,968^2 \cdot 0,0392 = 0,0782$  –  
эквивалентное активное сопротивление;

$T_{ekv} = \frac{L_{ekv}}{R_{ekv}} = \frac{0,0018}{0,0782} = 0,0237$  – эквивалентная электромагнитная  
постоянная времени обмотки статора, с;

$T_2 = \frac{L_{22}}{R_2} = \frac{0,0348}{0,0392} = 0,889$  – эквивалентная электромагнитная  
постоянная времени обмотки ротора, с;

$psi = \frac{Mn}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{fn} \cdot p \cdot k} = \frac{1039}{1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 164,96 \cdot 2 \cdot 0,968} = 1,5337$  – номинальное  
потокосцепление электродвигателя, Вб;

$U = 10$  – максимальное напряжение в системе управления;

									Лист
									36
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					





### 3.3 Разработка модели электропривода и результаты моделирования

На основании структурной схемы, изображенной в пункте 3.2 разработана и построена модель электропривода системы быстрого перемещения валков прокатной клетки блюминга (Рис.3.3). В состав системы входят несколько подсистем, конструкция которых показана на рис.3.4-3.8.

Вычислительный эксперимент предусматривал реализации следующих режимов: запуск привода на подъем валков, пауза момента прокатки, опускание валков, пауза момента прокатки.

Данные режимы соответствуют нагрузочной диаграмме показанной в разделе п.2.2. Временные интервалы моделирования также выдержаны согласно одного цикла технологическому процессу.

Результаты моделирования показаны на рис.3.9, 3.10 где соответственно выходное напряжение датчика интенсивности и изменение скорости, и момента.

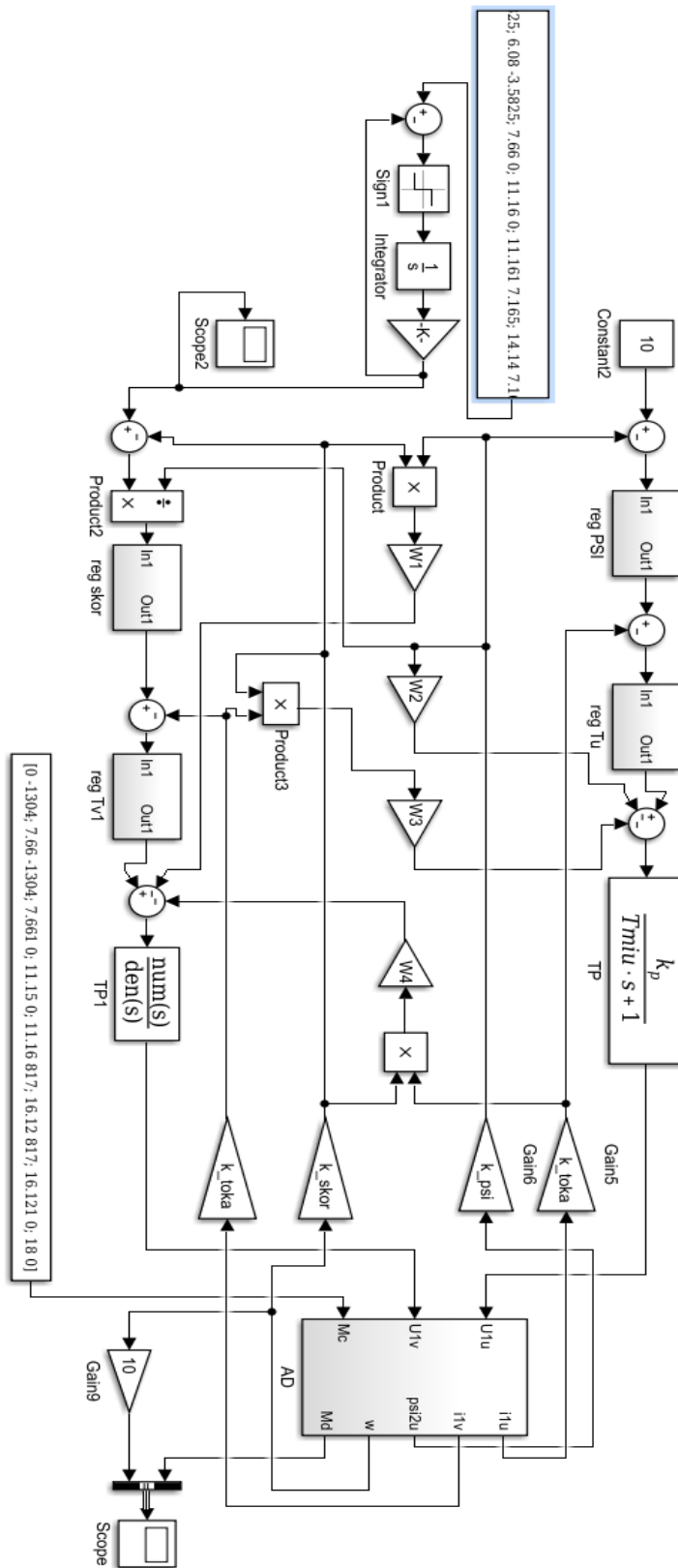


Рис.3.3 Модель электродвигателя с векторным управлением в Simulink

Модель асинхронного двигателя в Simulink представлена на рисунке 3.4.

Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат



Внутренняя структура блока «reg Tu» представлена на рисунке 3.7.

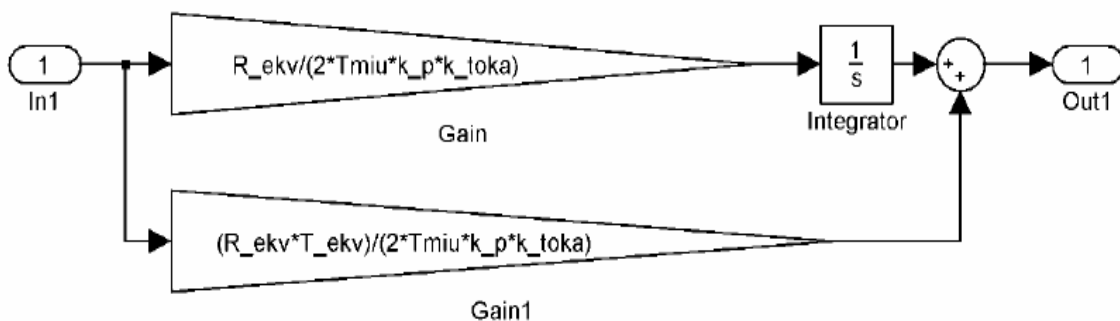


Рис.3.7 Внутренняя структура блока «reg Tu»

Внутренняя структура блока «reg Tv1» представлена на рисунке 3.8.

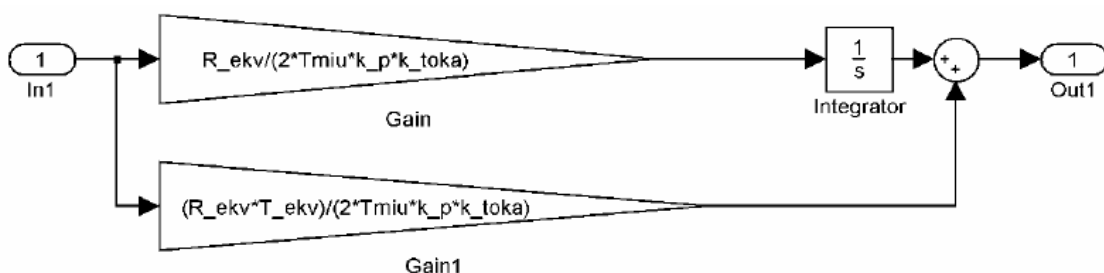


Рис.3.8 Внутренняя структура блока «reg Tv1»

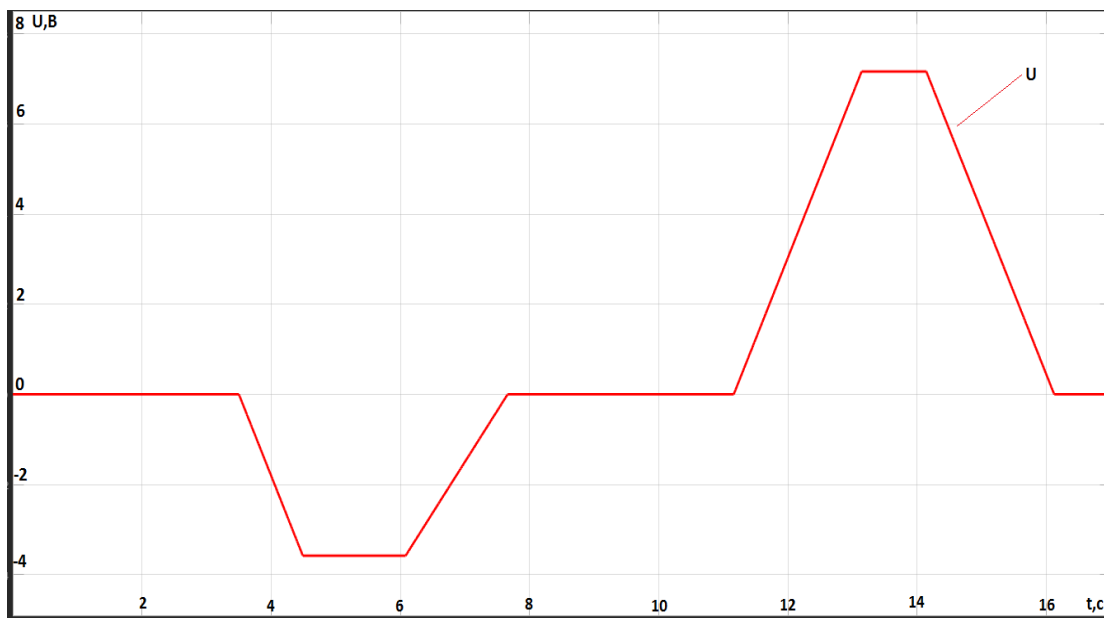


Рис.3.9 Осциллограмма задания на скорость после задатчика  
ИНТЕНСИВНОСТИ

Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат

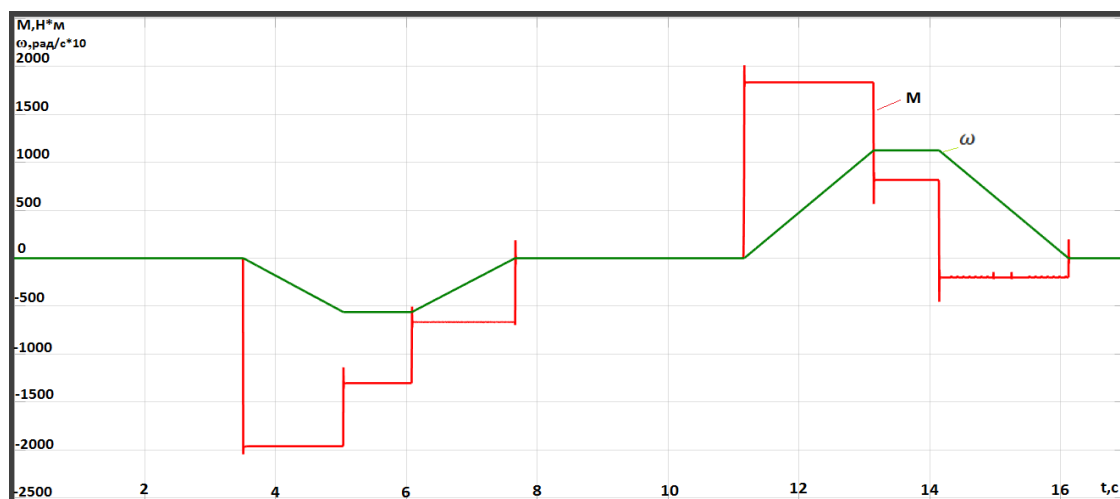


Рис.3.10 Результат моделирования перемещения вертикальных валков блюминга

Анализируя графики переходных процессов скорости и моментов можно сделать следующие выводы:

Полученная система управления соответствует заявленным требованиям п.1.4:

Диапазон регулирования удовлетворяет технологической необходимости.

Динамика переходных процессов соответствует требуемым.

В целом результаты моделирования подтверждают работоспособность спроектированной системы электропривода.

# ГЛАВА 4.

# ОХРАНА ТРУДА

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		43

#### 4.1 Анализ вредных производственных факторов проектируемого технологического процесса, объекта, системы или устройства

Современные прокатные цехи являются сложными производственными комплексами, оснащенными разнообразным механическим, электрическим и подъемно-транспортным оборудованием, обслуживание которого требует четкого соблюдения правил безопасности и норм производственной санитарии.

Прокатное производство отличается от других металлургических производств высокой скоростью технологических операций, интенсивностью грузопотоков и разнообразием метеорологических условий на различных участках.

Непрерывность технологического процесса требует одновременного выполнения различных по характеру операций, таких как нагрев, прокатка, транспортировка и складирование металла. Выполнение этих операций строго регламентировано по времени как графиком выполнения производственного плана, так и условиями безопасности. Так, недостаточный нагрев заготовки перед прокаткой может привести к поломке валков и аварии на стане.

К аналогичным последствиям может привести и преждевременная подача заготовки к стану, ее охлаждение на приемном рольганге. К травмированию обслуживающего персонала может привести увеличение скорости прокатки на одной клети, так как это приведет к обрыву раската или образованию петли.

Высокая интенсивность производства обуславливает и высокую интенсивность труда персонала прокатных цехов. В течение рабочей смены операторы прокатных станов, режущих устройств, а также машинисты кранов производят по несколько тысяч однообразных движений, получая при этом информацию о работе нескольких производственных операций. Это приводит к большому умственному утомлению, что сопряжено с ошибками в управлении механизмами и возникновению опасных ситуаций.

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		44

Отдельные участки прокатного цеха резко отличаются друг от друга по метеорологическим условиям. На участках нагрева, прокатки и транспортировки горячего металла тепловые излучения намного превышают санитарные нормы, имеет место пониженная влажность воздуха, в то время как на остальных участках температурные условия соответствуют наружным.

Для прокатных цехов характерна также большая протяженность и разбросанность обслуживаемых механизмов, имеющих дистанционное управление и расположенных на высоте и в подвальных помещениях, что снижает видимость и слышимость световой и звуковой сигнализации, затрудняет прием предупредительных сигналов.

Согласно межгосударственного стандарта ГОСТ 12 ГОСТ 12.0.003-74, опасные и вредные производственные факторы по природе действия подразделяются на:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Применительно к механизму, электропривод которого разрабатывается в данной работе, можно говорить о номинации следующих вредных производственных факторах: физических и психофизических. Для данной установки вредные факторы физической природы можно разделить на несколько основных групп:

- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		45





какой причине внесено то или иное изменение. Эксплуатационные электрические схемы и изменения, вносимые в них, должно утверждать лицо, ответственное за электрохозяйство предприятия.

- В электрических схемах должна быть предусмотрена защита электроустановок от перегрузки и короткого замыкания, а также защита персонала от воздействия электромагнитного поля.

- При работах, связанных с опасностью поражения электрическим током или воздействия электромагнитного поля, должны применяться средства защиты.

- У электрифицированных инструментов, переносных электрических ламп, понижающих трансформаторов и преобразователей частоты электрического тока перед применением должны быть проверены отсутствие замыкания на корпус, состояние изоляции питающих проводов и исправность заземляющего провода.

Переносной электрифицированный инструмент должен соответствовать требованиям межгосударственных стандартов безопасности труда, храниться в кладовой (инструментальной) и выдаваться рабочим на период работы. Электрифицированный инструмент напряжением выше 42 В должен выдаваться в комплекте со средствами индивидуальной защиты.

Лица, производящие обслуживание и ремонт электроустановок должны знать и соблюдать требования действующих ПУЭ.

Техническое обслуживание двигателей постоянного тока:

Во время эксплуатации двигателя необходимо вести его техническое обслуживание, которое по видам и периодичности делится на 3 группы:

- Общее наблюдение;
- Технический осмотр;
- Профилактический ремонт.

-Общее наблюдение заключается в периодическом контроле режима работы, состояния контактов, нагрева, чистоты двигателя.

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		47

-Технический осмотр проводить не реже одного раза в два месяца. При техническом осмотре нужно очистить двигатель от пыли и грязи, проверить надежность заземления и соединения с приводным механизмом.

-Профилактический ремонт двигателя производить в зависимости от производственных условий, но не реже одного раза в год.

При профилактическом ремонте производить разборку двигателя, продувку, обтирку, внутреннюю очистку, замену смазки, подшипников, проверку надежности заземления и всех соединений, проверку состояния вводных концов.

Разборка двигателя производится в следующем порядке:

- а) отсоединяются от двигателя токоподводящие провода;
- б) отсоединяют двигатель от приводного механизма;
- в) снимается полумуфта с вала при помощи съемного приспособления, отвернуть болты, крепящие кожух двигателя и снять кожух;
- г) снять наружное кольцо вала, запирающее вентилятор. Снять вентилятор с помощью отжимных болтов, вынуть шпонку;
- д) отвернуть болты, крепящие крышку подшипников к переднему и заднему подшипниковым щитам, и снять крышки;
- е) отвернуть болты, крепящие передний щит, расположенный со стороны привода, и задний щит, расположенный с обратной стороны привода;
- ж) вывести задний щит из замка станины, подать ротор легкими толчками в сторону заднего щита и поддерживая его вывести осторожно из статора, чтобы не повредить лобовые части обмотки;
- з) положить вынутый ротор с задним щитом на деревянную подставку во избежание его повреждения.

Подшипники снимают только в случае их замены, для этого:

- а) снять пружинные кольца, фиксирующие положение подшипника на валу;
- б) снять смазочный диск и подшипник с помощью съемника;

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		48

в) очистить и тщательно промыть бензином или керосином поверхности под подшипник;

г) нагреть подшипник в чистом минеральном масле до температуры 70 - 80<sup>0</sup>С;

д) насадить нагретый подшипник на вал до упора внутреннего кольца вала.

Собирают двигатель в последовательности обратной разборке.

При насадке муфты на вал нагреть его до температуры 80-1000С.

Проверить рукой свободно ли вращается ротор после сборки двигателя. Ротор должен вращаться без особых усилий, шума, стука, и заеданий и в конечном итоге проверяют сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса.

Общими требованиями безопасности для всех прокатных станов являются:

- Главный пост управления прокатным станом должен иметь переговорную связь и сигнализацию с машинным залом и с постами управления вспомогательных агрегатов. Пуск в ход стана должен производиться после подачи соответствующего сигнала.

Пуск стана в неисправном состоянии, а также при отсутствии или неисправности оградительных и предохранительных устройств запрещается.

- При необходимости перехода через главный соединительный вал каждой клетки прокатного стана (далее – стан) должны устанавливаться переходные мостики с ограждением.

На непрерывных станах вместо отдельных мостиков через соединительные валы каждой клетки до пускается устройство одного сплошного мостика вдоль всех клеток с лестницами для спуска к каждой из клеток.

- Производить устранение неисправностей узлов и механизмов станов во время прокатки металла запрещается.

									Лист
									49
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					

Неработающие калибры валков должны закрываться щитами.

- Проверка калибров, зазора между валками, а также положения проводок должна производиться при помощи соответствующей оснастки.

Регулировка зазора между валками на вновь строящихся станах должна быть механизирована.

- Замер профиля прокатываемого металла на ходу стана должен производиться только дистанционно с использованием соответствующих измерительных приборов.

- На станах «трио» при наличии системы гидравлического уравнивания среднего валка промежутки между траверсой привода и станиной клетки должны быть закрыты оградительными щитами.

- При ручной задаче металла в валки клещи вальцовщиков должны соответствовать сортаменту прокатываемого металла и быть в исправном состоянии. Для охлаждения клещей около станов должны быть установлены емкости с проточной водой, температура которой не должна превышать 45 °С.

- Конструкция подъемно-качающихся столов должна исключать возможность падения с них прокатываемого металла.

Для предотвращения травмирования работающих боковые поверхности подъемно-качающихся столов должны быть обшиты листовым металлом. При верхнем положении стола обшивка не должна быть выше плитового настила рабочего места.

- Для ремонта и осмотра механизмов под подъемно-качающимися столами должны быть устроены прямки с наклонными лестницами.

В случаях, когда устройство прямков с наклонными лестницами невозможно, допускается устройство сбоку подъемно-качающихся столов колодцев с вертикальными лестницами или скобами.

- Во время осмотра и ремонта механизмов, расположенных под подъемно-качающимися столами, стан должен быть остановлен, а подъемно-качающийся стол надежно закреплен.

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		50

- Промежутки между роликами рольгангов, за исключением рабочих рольгангов у блюмингов и слябингов, должны быть перекрыты.

Далее перечислены основные правила для блюмингов и слябингов:

- Для защиты работающих от отлетающих при прокатке частиц окалины и шлака с боков клетки блюминга (слябинга) против прорези в станине и сбоку рабочих рольгангов должно быть установлено соответствующее защитное ограждение (предохранительные щиты, сетчатое ограждение).

- Указатель нажимного устройства клетки блюминга (слябинга) должен быть доступен для регулировки и хорошо освещен. При обильном парообразовании для улучшения видимости должен быть предусмотрен отдув пара с помощью вентилятора.

- Клеймение блюмов и слябов после резки должно производиться автоматически клеймовочной машиной.

Управление машиной должно быть дистанционное.

- Работы по погрузке и уборке обрезки должны выполняться в соответствии с требованиями технологической инструкции.

При погрузке обрезки в железнодорожные вагоны места погрузки должны быть ограждены.

Во время передвижения вагонов для установки под сбросной желоб должны подаваться звуковые сигналы. На участке погрузки должны быть установлены соответствующие знаки безопасности.

- При уборке обрезки в коробки переполнять их запрещается.

- Для наблюдения за погрузкой обрезки в вагоны посты управления должны быть оборудованы телевизионными установками, а конвейер обрезки – дистанционным управлением.

#### **4.3 Производственная санитария и эргономика**

В соответствии с Законом Украины „Об обеспечении санитарного и эпидемического благополучия населения” вопросы санитарных и

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		51

противоэпидемиологических норм нашли отражение в целом ряде законодательных, нормативных и инструктивных документах: „Закон Украины об охране труда”, СНиП 89-90 „Генеральные планы промышленных предприятий”, ДСН 3.3.6.042.99 „Санитарные нормы микроклимата производственных помещений”, ДСН 3.3.6.039-99 „Государственные санитарные нормы производственной общей и локальной вибрации”, ДНАОП 0,03-1,02-94 „Положение о медицинском осмотре работников определенных категорий”, ГОСТ 12.1.005-88 „Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”, ДБН 2.2.1-95 „Основные положения проектирования” и др.

В ст.7 Законодательства „Обязанности предприятий, учреждений и организаций” изложены обязанности администрации по выполнению санитарных и противоэпидемиологических мер, контроля за вредными и опасными производственными факторами; ликвидации непредвиденных обстоятельств и их последствий, оповещению работников и специальных органов Государственного надзора о допущенных нарушениях. Технология производства такова что на одних участках все санитарные нормы соблюдены и не наблюдается резкого отклонения от них, а на других наблюдается циклическое резкое отклонение многих параметров от нормы.

Так же большое значение в производственном процессе имеет рациональная окраска производственных помещений и оборудования. Поскольку продуманное и рациональное решение цвета в интерьере промышленного здания на 15-20% повышает производительность труда, значительно улучшает производственную обстановку и безопасность рабочего места.

При окраске технологического оборудования и пультов управления необходимо внимательно отнестись к цветовому решению щитов управления. Рычаги и кнопки должны иметь контрастные цвета.

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
						52
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		

Чтобы повысить технику безопасности труда на производстве, применяется предупредительная окраска. Количество цветов должно быть минимальным, а их значение - четко определено и хорошо известно.

Предупредительными цветами являются красный, оранжевый, зеленый, желтый. Красный цвет означает "огонь", "стоп", "запрещено". В красный цвет окрашиваются противопожарное оборудование, рычаги немедленной остановки механизмов, тормозные устройства и т. д.

Оранжевый цвет означает "опасно". В оранжевый цвет следует окрашивать движущиеся части оборудования, внутренние поверхности и открытые приспособления машин. Оранжевый цвет предупреждает об опасности травмирования электрическим током или лучевом воздействии.

В желтый окрашиваются материалы и части, которые могут упасть, о которые можно удариться, споткнуться. В него окрашиваются краны, блоки и кабины кранов, движущееся наземное оборудование, тележки-электрокары, монорельсы, первые и последние ступени затемненных лестниц, ограничители движения. Для увеличения степени заметности применяется окраска желтыми и черными полосами.

Зеленый цвет означает "путь свободен", "первая помощь". В него окрашиваются указатели безопасного и кратчайшего выхода из помещения, выходные двери и двери пунктов первой помощи, аптечные шкафчики, места, где находятся санитарные носилки.

Белый цвет применяется для нанесения на полу разграничивающих линий и для окраски темных углов.

#### **4.4 Противопожарная безопасность**

В производственных помещениях, на подстанциях и в электромашинах помещения должны быть первичные средства огнетушения, которые применяет обслуживающий персонал для ликвидации пожара до прибытия вызывной пожарной части.

					ЕП.18.15.4.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		53



Для тушения пожаров можно использовать воду, водяной пар, воздушно-механическую пену и специальные химические средства (углекислота). Для тушения пожаров применяются: огнетушитель типа УП-1М, углекислотно-бромтиловые огнетушители, а также простейшие средства такие как песок, асбестовая ткань и т.д. Противопожарные огнетушители вывешиваются на видных местах.

Пожарной охраной предприятия совместно с инженерно-техническим составом предусмотрено:

а) специальные предприятия для отдельных производств по пожарной безопасности;

б) порядок и нормы хранения пожарно- и взрывоопасных веществ и материалов;

в) инструкции по правилам применения средств пожаротушения, аварийной остановке технического оборудования, порядку эвакуации людей и ценностей, вызову пожарной помощи;

г) определение мест, где запрещается курение и применение открытого огня, а также мест где курение разрешено.

									Лист
									54
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат	ЕП.18.15.4.ПЗ				

**ГЛАВА 5.**  
**ТЕХНИКО-**  
**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ**  
**ОБОСНОВАНИЕ**

					ЕП.18.15.5.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		55

## **Введение**

Одним из главных механизмов по производству металлической продукции является прокатные валки, их нажимной привод имеет свои недостатки.

В отличие от гидравлической, предлагаемая электромеханическая система не содержит таких недостатков как подтекание гидравлической жидкости, высокие габаритные показатели и стоимость. Проектируемая система имеет большую надежность и безопасность, низкую стоимость конструкции и обслуживания, а самое главное позволяет повысить качество конечной продукции.

В данном техническом решении предложено модернизировать прокатную клеть блюминга, путем замены двигателя постоянного тока нажимной клетки на комплектный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Данное техническое решение позволит снизить эксплуатационные расходы на техническое обслуживание установки, уменьшит потребление электроэнергии и увеличит надежность работы системы в целом.

Внедряемое решение позволит не только повысить быстродействие и точность позиционирования клетки, что в свою очередь положительно сказывается на конкурентоспособности продукции, а и улучшить и технико-экономические показатели. Благодаря использованию серийного асинхронного электродвигателя на предприятиях-изготовителях повышается степень унификации и стандартизации оборудования снижаются расходы на наладку, возрастает уровень технологичности и автоматизации производства. Что в свою очередь на предприятиях-потребителях снижает эксплуатационные расходы, повышает удобство эксплуатации, наладки и

					ЕП.18.15.5.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		56

ремонта, существенным образом повышает надежность и гибкость электрооборудования.

Основной задачей технико-экономического обоснования (ТЭО) является расчет экономической целесообразности использования асинхронного двигателя с преобразователя частоты (ПЧ) как привода прокатной клетки блюминга. А также определение капитальных затрат и эксплуатационных расходов данного механизма

### 5.1 Расчёт капитальных затрат

Капитальные инвестиции — это средства, предназначенные для создания и приобретения основных фондов и нематериальных активов, подлежащих амортизации.

Капитальные инвестиции реализации проекта включают в себя:

- затраты на приобретение оборудования;
- затраты на монтаж и наладку оборудования;

Подсчёт затрат осуществляется на основе цен, приведённых в прайс-листах производителей оборудования и других справочных материалов.

Для определения капиталовложений ( $K_{пр}$ ) можно воспользоваться следующей формулой:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тпс} + Z_m + Z_n + Z_{пр} \quad (5.1)$$

где -  $K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i)$  - стоимость приобретения электрооборудования или суммарная стоимость комплектующих элементов;

$k$  — количество необходимых комплектующих;

$Z_{тпс}$  — транспортно-подготовительные и складские затраты;

$Z_m$  — затраты на монтажные работы;

$Z_n$  — затраты на наладку;

$Z_{пр}$  — прочие разовые затраты;

Таблица 5.1 – Сводка капитальных расходов

№	Наименование технических средств	Количество	Цена за единицу, грн	Сума, грн.	Поставщик
1	Асинхронный двигатель 4A180M6У3	2	99 935	199 870	ООО «СИСТЕМАКС» - SYSTEMAX™ г.Киев
2	Преобразователь частоты АТВ71НС20N4	2	575 827	1151654	Интернет-магазин «ОВК Комплект» г.Киев
Всего					<b>1 351 524 грн.</b>

### 5.2 Затраты на приобретение оборудования

Цены на комплектующие элементы взяты с официальных сайтов соответствующих производителей или сертифицированных производителем дилеров.

### 5.3 Затраты на монтаж и наладку

Затраты на монтажные и наладочные работы рассчитываются по формуле:

$$Z_m = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_{\text{доплат}} \cdot K_{\text{соц.вл.}} \cdot K_{\text{пр}} \quad (5.2)$$

Таблица 5.2 – Затраты на монтаж ( $Z_M$ )

Наименование расходов	обозначения	значение
Численность работников V разряда, чел.	$Ч_i$	4
Часовая ставка работников монтажника V разряда, грн.	$a_i$	33,8
Время, необходимое для выполнения монтажных работ, ч	$t_i$	8
Коэффициент, учитывающий размер доплат	$K_{\text{доплат}}$	1,69
Коэффициент, учитывающий единый социальный взнос	$K_{\text{соц.вл.}}$	1,22
Коэффициент, учитывающий прочие затраты на осуществление монтажных работ	$K_{\text{пр}}$	1,07

Согласно ст. 7 Закона Украины «О Государственном бюджете Украины на 2017 год» от 21.12.2016 г. № 1801-VIII с 01.01.2017 г. Минимальный оклад работника первого разряда составляет 3200 грн. на январь 2017.

$$Z_M = \sum(4 \cdot 33.8 \cdot 8) \cdot 1.4 \cdot 1.22 \cdot 1.07 = 1976.68 \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Таблица 5.3 – Затраты на наладку ( $Z_H$ )

Наименование расходов	обозначения	значение
Численность работников VI разряда, чел.	$Ч_i$	2
Часовая ставка работников монтажника VI разряда, грн.	$a_i$	38,7
Время, необходимое для выполнения наладки, ч	$t_i$	4
Коэффициент, учитывающий размер доплат	$K_{\text{доплат}}$	1,4
Коэффициент, учитывающий единый социальный взнос	$K_{\text{соц.вл.}}$	1,22
Коэффициент, учитывающий прочие затраты на осуществление монтажных работ	$K_{\text{пр}}$	1,07

$$Z_H = \sum(2 \cdot 38.7 \cdot 4) \cdot 1.4 \cdot 1.22 \cdot 1.07 = 565.79 \text{ грн.} \quad (5.4)$$

Таблица 5.4 – Затраты на демонтаж (З<sub>д</sub>)

Наименование расходов	обозначения	значение
Численность работников IV разряда, чел.	Ч <sub>i</sub>	2
Часовая ставка работников IV разряда, грн.	a <sub>i</sub>	29,2
Время, необходимое для выполнения демонтажа, ч	t <sub>i</sub>	7
Коэффициент, учитывающий размер доплат	K <sub>доплат</sub>	1,4
Коэффициент, учитывающий единый социальный взнос	K <sub>соц.вл.</sub>	1,22
Коэффициент, учитывающий прочие затраты на осуществление монтажных работ	K <sub>пр</sub>	1,07

$$З_{д} = \sum(2 \cdot 29.2 \cdot 7) \cdot 1.4 \cdot 1.22 \cdot 1.07 = 747.3 \text{ грн.} \quad (5.5)$$

Транспортно-заготовительные и складские расходы рассчитываем согласно согласно цен курьерской фирмы «InTime». Доставка со склада в Киеве в Днепр составляет:

Таблица 5.5 – Таблица транспортных затрат

№	Наименование перевозимого груза	Цена, грн.
1	Частотных преобразователей	1 279 грн.
2	Асинхронных электродвигателей	7 981 грн

Демонированное оборудования было частично реализовано по цене:

$$Ц_{д} = 78\ 600 \text{ грн.}$$

$$K_{пр} = 1351\ 524 + 9260 + 1976.68 + 565.79 + 747.3 - 78600 = 1285472 \text{ грн.} \quad (5.6)$$

## 5.4 Расчёт эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты — это текущие затраты на эксплуатацию и обслуживание объекта проектирования за конкретный период (год), выраженные в денежной форме.

К основным эксплуатационным затратам относят:

- амортизационные отчисления ( $C_a$ );
- затраты на техническое обслуживание, ремонт оборудования и сетей ( $C_T$ );
- стоимость затрат на электроэнергию ( $C_э$ );

Таким образом, годовые эксплуатационные затраты составят:

$$C = C_a + C_m + C_э;$$

$$C = 257094 + 13500 + 545752 = 816346 \text{ грн.} \quad (5.7)$$

## 5.5 Расчёт амортизационных отчислений

Годовой фонд амортизационных отчислений определяется в процентах от суммы капитальных затрат по видам основных фондов и нематериальных активов по разделам возведения капитальных затрат.

Амортизируемая стоимость основных фондов:

$$O_a = O_{п} - Л = 1285472 - 0 = 1285472 \text{ грн.} \quad (5.8)$$

где  $O_{п}$  - первоначальная (или переоцененная) стоимость объекта основных средств;

$Л$  - расчетная ликвидационная стоимость основных средств. Если определить ожидаемую ликвидационную стоимость объекта основных средств сложно, то при прямолинейном методе амортизации разрешается считать ее равной нулю.

					ЕП.18.15.5.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		61



Электрооборудование относится к IV группе основных средств с минимальным сроком полезного использования  $T_k = 5$  лет.

Норма амортизации при прямолинейном методе постоянна в течение всего амортизационного периода и определяется по формуле:

$$N_a = \frac{O_n - Л}{O_n \cdot T_k} \cdot 100\% = \frac{1285472 - 0}{1285472 \cdot 5} \cdot 100\% = 20\% \quad (5.9)$$

Таблица 5.6 - Расчет амортизационных отчислений

Наименование	Капитальные затраты, грн	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, грн.
Проектный вариант	1285472	20	257094

### 5.6 Расчет годовых затрат на техническое обслуживание и поточный ремонт

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт электротехнического оборудования включают затраты на материалы и запасные части, заработную плату ремонтным рабочим и могут определяться по фактическим данным предприятия.

Расходы на текущий ремонт аппаратуры автоматики и систем автоматизации можно рассчитать по формуле:

$$P_{т.р.} = \sum_{i=1}^n (R \cdot t \cdot m \cdot R_{\Sigma} + \frac{S \cdot \Pi}{T} \cdot T_{\phi}) \quad (5.10)$$

где  $R$  - часовая ставка рабочих, выполняющих ремонт, грн;

$t$  - трудоемкость одного ремонта (для малого принимаем 1,2 ед /час, для среднего принимаем 7,0 ед /час)

$m$  - количество ремонтов в год;

$R_{\Sigma}$  - суммарная категория сложности ремонта (принимаем 10);

$S$  - стоимость однотипных заменяемых элементов, грн;

П - количество однотипных заменяемых элементов, грн;

Т - средний срок службы деталей одного типа, час;

Т<sub>ф</sub> - число часов работы оборудования в год, час.

Номинальный годовой фонд рабочего времени электрооборудования составляет:

$$T_H = T_p \cdot K_{3M} \cdot t_{3M} = 239 \cdot 1 \cdot 8 = 1912 \text{ час.} \quad (5.11)$$

где K<sub>3M</sub> - количество рабочих смен;

(239 рабочих дней, смена 8:00, работа в 1 смену)

Время на проведение ремонтных предупредительных работ:

$$T_{п.рем.} = 8 \cdot 8 = 64 \text{ час.} \quad (5.12)$$

Техническая остановка на обслуживание составляет примерно 1 час. в смену, то есть 239 часов в год.

Общее время обслуживания:

$$T_{обсл} = 64 + 239 = 303 \text{ час.} \quad (5.13)$$

Общее время работы оборудования составляет:

$$T_p = 1912 - 303 = 1609 \text{ час.} \quad (5.14)$$

Общие затраты на эксплуатацию и ремонт составляют:

					ЕП.18.15.5.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		63

$$Z_{т.р.} = 24,59 \cdot (1,2 \cdot 2 + 7,0) \cdot 12 + \frac{1000 \cdot 4}{600} \cdot 1609 = 13\,500 \text{ грн.} \quad (5.15)$$

### 5.7 Расчет стоимости потребленной электроэнергии

Стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования течение года, определяется исходя из его установленной мощности и годового фонда рабочего времени объекта проектирования по формуле:

$$C_e = W_p \cdot C_e \quad (5.16)$$

где  $W_p$  - количество потребленной за год электроэнергии, кВт · ч;

$C_e$  - тариф на электроэнергию по состоянию на конкретную дату, грн / кВт · ч.

Цена электроэнергии для II класса потребителей по состоянию на 14.4.2018 составляет 2,02 грн / кВт · ч.

Расчитаем годовой фонд рабочего времени объекта проектирования. Поскольку продолжительность работы электродвигателей в одном цикле прокатки 9,04с, продолжительность цикла прокатки 19,54 с, то время работы двигателей за один час прокатки составляет 28 мин.

Годовой фонд рабочего времени объекта проектирования 1609 час.

Количество потребленной электроэнергии за год объекта проектирования:

$$W_p = \frac{2 \cdot M_{\text{экр}} \cdot T_p \cdot \omega_n}{\cos(\varphi) \cdot \eta_d} = \frac{2 \cdot 975 \cdot (1609 \cdot \frac{28}{60}) \cdot 157}{0.91 \cdot 0.935} =$$

$$= 270174 \text{ кВт} \cdot \text{час.} \quad (5.17)$$

									Лист
									64
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат					

Стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования в течении года составляет:

$$C_e = 270174 * 2,02 = 545752 \text{ грн.} \quad (5.18)$$

### **Вывод**

В данном разделе была определена общая стоимость капитальных затрат на внедрение разработанного технологического решения, которая составляет 1285472 грн. Годовые эксплуатационные расходы будут составлять 816346 грн.

Расчет затратной часть проекта осуществлял путем оценки сметной стоимости на все составляющие выполняемых работ и закупку оборудования.

Принимая во внимание использование новых технологий и возможность повышения надежности системы электропривода и повышение качества выпускаемой продукции, объемы затрат на модернизацию можно считать оправданными.

					ЕП.18.15.5.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		65

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

					ЕП.18.15.СП.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		66

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задачей дипломного проекта была разработка автоматизированного электропривода нажимного механизма прокатной клетки блюминга. Вопросы модернизации предполагали использование последних достижений в области автоматизированного привода переменного тока.

Для решения поставленной задачи в проекте выполнен анализ технологической установки с точки зрения определений нагрузочных диаграмм и условий работы установки в целом. Такие данные использованы для расчета рациональной величины мощности электродвигателя и его системы управления. На основании полученных результатов выполнен обоснованный выбор электродвигателя и подходящей к нему комплектной системы управления серии Altivar 71 компании Schneider Electric.

Проверку правильности выполненного проекта осуществлено путем математического моделирования динамической модели электропривода в среде программного продукта MatLab компоненты Simulink.

Результаты оценки полученных переходных процессов подтверждают работоспособность и качество отработки задания спроектированного электропривода.

В проекте также решались задачи охраны труда и объемов затрат на реализацию предлагаемого технического решения.

Раздел охраны труда характеризует производственную обстановку на предмет выявления вредных и опасных факторов влияния на работу оборудования и персонала. Исходя из приведенной характеристики сформулированное инженерное предложение по минимизации влияние выявленных факторов.

Затратная часть проекта осуществлялась путем оценки сметной стоимости на все составляющие выполняемых работ и оборудования. Принимая во внимание использование новых технологий и возможность повышения надежности системы электропривода и повышение качества

					ЕП.18.15.СП.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		67

выпускаемой продукции, объемы затрат на обновление можно считать оправданными.

Опыт комплекса выполненных работ позволяет сделать следующие суммарные выводы. При всех положительных качествах гидравлического привода в нажимном механизме прокатной клетки блюминга электрический привод все же лучше при решении соответствующей технологической задачи.

					ЕП.18.15.СП.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		68

## Список литературы

- 1.Машиностроение: Энцикл.: В 40 т. Т. IV-5: Машины и агрегаты металлургического производства. М.: Машиностроение, 2000.
- 2.Машины и агрегаты металлургических заводов: Учеб. для вузов.  
3/А.И. Целиков, П.И.Полухин, В.М.Гребеник и др. М.:Металлургия, 1981. 576 с.
- 3.Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. М.: Metallurgy, 1985. 376 с.
- 4.Учебное пособие «Механизмы и устройства рабочих клетей блюминга». А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев.
- 5.Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп.–Д., Національний гірничий університет, 2010. – 540 с.
- 6.Учебное пособие к проектированию по теории электропривода для студентов. Фираго Б.И. БНТУ, 2004.
- 7.Методические указания «Расчет и конструирование прокатных станов». Шпак В.И. 2001.
- 8.Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: Навч. посібник / С.М.Довгань. – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137 с.
- 9.Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с. (стр. 119 – 125).
- 10.Системы подчиненного регулирования электроприводами переменного тока с вентильными преобразователями / О.В. Слежановский, Л.Х. Дацковский, И.С.Кузнецов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.

					ЕП.18.15.СП.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		69



11. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.
12. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат. 1984.
13. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат. 1982.
14. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки: навч. посібник / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін; за ред. В.І. Голінька. Д.: Національний гірничий університет, 2011. - 235 с.
15. Правила устройства электроустановок. ПУЭ - 76. - М.: Атомиздат, 1980.-56 с.
16. Методические указания к выполнению экономической части дипломной работы для студентов направления подготовки 6.050702 «Электромеханика»/Составители:Л.В. Тимошенко,И.В. Шереметьева – Днепрпетровск: НГУ, 2015. – 15 с.
17. Офіційний сайт компанії InTime: [www.InTime.ua](http://www.InTime.ua).
18. Офіційний сайт компанії ДТЕК: [www.doe.com.ua](http://www.doe.com.ua).
19. Стандарт вищого навчального закладу. Кваліфікаційні роботи випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт/ Упорядн.: В.О.Салов, О.М.Кузьменко, В.І.Прокопенко. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 52 с
20. Глобальная сеть Internet.

					ЕП.18.15.СП.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		70

## Приложение А

### Расчет мощности привода нажимного механизма

#### Исходные данные:

$p := 8.5 \cdot 10^6$	- максимальная осевая сила на нажимной винт при прокатке, Н
$V_{\text{max}} := 0.2$	- максимальная скорость перемещения винта по вертикали, мм/с
$d_n := 0.350$	- сечения нижнего опорного конца винта, м
$d_0 := 0.440$	- наружный диаметр резьбы, м
$d_1 := 0.358$	- внутренний диаметр резьбы, м
$d_{\text{cp}} := 0.404$	- средний диаметр резьбы, м
$\alpha := 2.166 \cdot \text{deg}$	- угол подъема резьбы, град
$M_B := 6.1 \cdot 10^6$	- напряжение кручения в теле винта, Н
$i := 4.5$	- передаточное число редуктора
$\eta := 0.95$	- коэффициент полезного действия редуктора, о.е.

#### 1. Напряжение сжатия в сечении нижнего опорного конца винта:

$$\delta_{\text{сж}} := 4 \frac{P}{\pi \cdot d_n^2} \quad \delta_{\text{сж}} = 88347233.716 \quad \text{Н}$$

#### 2. Напряжение кручения в теле винта:

$$\tau := \frac{M_B}{0.2 \cdot d_1^3} \quad \tau = 664738387.74 \quad \text{Н}$$

#### 3. Число витков резьбы:

$$H_{\text{max}} := 720 \quad \text{- высота гайки, мм} \quad S_{\text{max}} := 48 \quad \text{- шаг резьбы, мм}$$

$$z := \frac{H}{S} \quad z = 15$$

#### 4. Напряжение смятия между витками винта и гайки:

$$\sigma := \frac{4p}{\pi \cdot (d_0^2 - d_1^2) \cdot z} \quad \sigma = 11026077.521 \quad \text{Н}$$

#### 5. Напряжение смятия по площади соприкосновения гайки с заготовкой:

$$D := 0.750 \quad \text{- наружный диаметр, м} \quad d_{\text{отв}} := 0.470 \quad \text{- внутренний диаметр, м}$$

$$\sigma_{\text{см}} := \frac{4 \cdot p}{\pi \cdot (D^2 - d_{\text{отв}}^2)} \quad \sigma_{\text{см}} = 31681897.337 \quad \text{Н}$$



$$M(t) := \text{if}(t \leq t_1, 0, \text{if}(t_1 < t \leq a_1, -M_B, \text{if}(a_1 < t < a_2, 0, \text{if}(a_2 < t \leq a_3, M_B, 0)))) \text{ Нм}$$

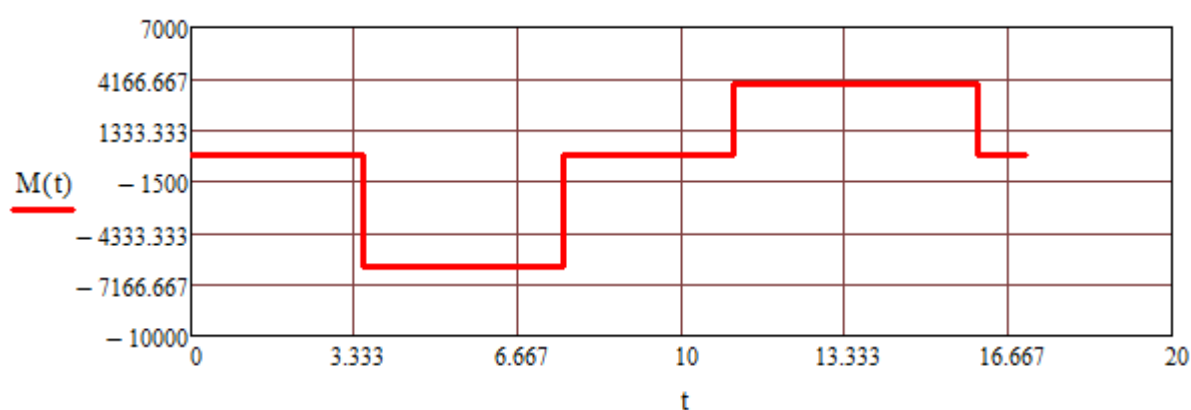
$$V_4(t) := \text{if}[b_5 < t \leq b_6, \phi_3 \cdot (t - b_5) + v_2, 0]$$

$$V_2(t) := \text{if}[b_2 < t \leq b_3, 0, \text{if}[b_3 < t \leq b_4, \phi_2 \cdot (t - b_3), \text{if}(b_4 < t \leq b_5, V_2, V_4(t))]]]$$

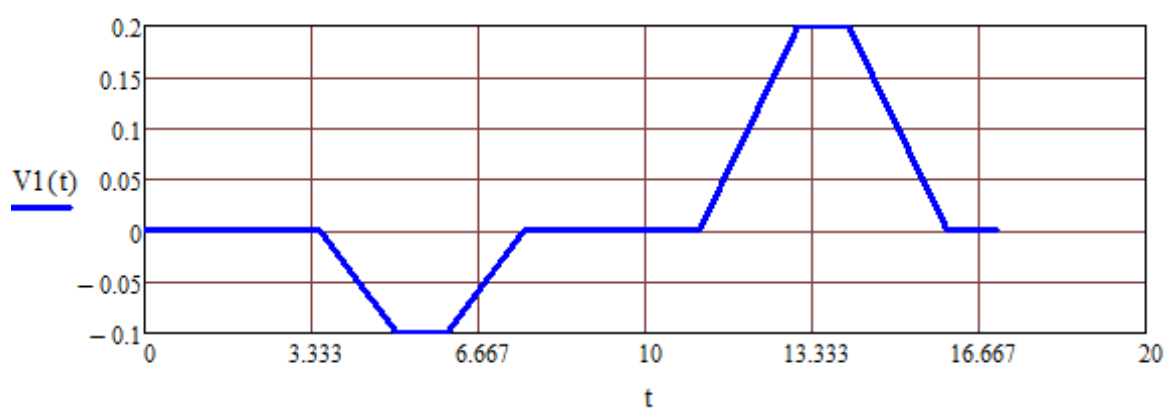
$$V_3(t) := \text{if}[b_1 < t \leq b_2, \phi_1 \cdot (t - b_1) + v_1, V_2(t)]$$

$$V_1(t) := \text{if}[t \leq t_1, 0, \text{if}[t_1 < t \leq b_0, -\phi_0 \cdot (t - t_1), \text{if}(b_0 < t \leq b_1, -v_1, -V_3(t))]] \frac{M}{c}$$

### Нагрузочные диаграммы механизма



### Тахограмма скорости механизма



## 7. Предварительный расчет параметров двигателя

$$n := \frac{V \cdot i \cdot 60 \cdot 1000}{48} \quad n = 1125 \quad \text{частота вращения ротора, об/мин}$$

$$P_{\text{дв}} := \frac{2 \cdot \pi \cdot V \cdot M_{\text{в}} \cdot \eta}{S \cdot 1000} \quad P_{\text{дв}} = 151.713 \quad \text{мощность двигателя, кВт}$$

					ЕП.18.15.Д.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		74

## Паспортные данные предварительно выбранного двигателя:

Технические данные асинхронных двигателей серии  
4А закрытого исполнения (IP44) напряжение 380/220 В

Тип	$P_{ном}$ , кВт	$S_{ном}$ , %	$\eta_{ном}$ , %	$\cos\varphi_{ном}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{II}}{M_{ном}}$	$S_k$ , %	$\frac{I_{II}}{I_{ном}}$	$J_{\sigma^2}$ , кгм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4А315S4У3	160	2	93,5	0,91	1,9	1	6,5	7	3,1

Параметры схемы замещения асинхронных двигателей  
серии 4А закрытого исполнения (IP44) – в относительных единицах

Тип	$x_{\mu}^*$	$R_1^*$	$x_1^*$	$R_2^*$	$x_2^*$
Синхронная частота вращения 1500 об/мин					
4А315S4У3	4,6	0,018	0,107	0,017	0,15

### Параметры двигателя:

$$\begin{aligned}
 n_{\omega} &:= 1500 \frac{\text{об}}{\text{мин}} & \lambda &:= 1.9 \quad \text{Перегрузочная способность} \\
 \eta_{д} &:= 93.5 \quad \text{КПД двигателя} & U_n &:= 380 \quad \text{В} & \cos\varphi &:= 0.91 \\
 P_n &:= 160000 \quad \text{Вт} & n_0 &:= n & \eta_n &:= 0.935 & s_n &:= 0.02 & f &:= 50 \\
 X_1 &:= 0.107 & X_2 &:= 0.15 & X_{\mu} &:= 4.6 & R_1 &:= 0.018 & R_2 &:= 0.017
 \end{aligned}$$

### 8. Статические моменты механизма, приведенные к валу двигателя, Нм.

$$M_{CT'} := \frac{M_B \cdot \eta}{i} \quad M_{CT'} = 1304.06 \quad \text{Нм} \quad \text{спуск}$$

$$M_{CT''} := \frac{M_B'' \cdot \eta}{i} \quad M_{CT''} = 817.1 \quad \text{Нм} \quad \text{подъем}$$

### 9. Суммарный момент инерции приведенный к валу электродвигателя:

$$j_p := 3.1 \quad \text{- момент инерции ротора двигателя, кг*м}^2$$

$$j_i := 220 \quad \text{- промежуточных шестернь, кг*м}^2$$

$$j_{НВ} := 80 \quad \text{- нажимного винта, кг*м}^2$$

$$J_{\omega} := j_p + \frac{j_i + j_{НВ}}{i^2} \quad J = 17.915 \quad \text{Саммарный момент инеции электромеханической системы, кг*м}^2$$

### 10. При опускании нажимного винта

$$\text{Ускорение} \quad \epsilon_1 := 30 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$M_{дин'} := J \cdot \epsilon_1 \quad M_{дин'} = 537.444 \quad \text{динамический момент двигателя, Нм}$$

### 11. При подъеме нажимного винта

$$\text{Ускорение} \quad \epsilon_2 := 57 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$M_{дин''} := J \cdot \epsilon_2 \quad M_{дин''} = 1021.144 \quad \text{динамический момент двигателя, Нм}$$

					ЕП.18.15.Д.ПЗ	Лист
Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат		75

12. Пусковые моменты на валу электродвигателя:

$$M_{дв}' := M_{ст}' + M_{дин}' \quad M_{дв}' = 1841.504$$

$$M1_{дв}' := M_{ст}' - M_{дин}' \quad M1_{дв}' = 766.615 \quad \text{при опускании валков, Нм}$$

$$M_{дв}'' := M_{ст}'' + M_{дин}'' \quad M_{дв}'' = 1838.245 \quad \text{при подъеме валков, Нм}$$

$$M1_{дв}'' := M_{ст}'' - M_{дин}'' \quad M1_{дв}'' = -204.044$$

Промежуточные данные, сек.:

$$c1 := t_1 + t_2 \quad c2 := t_1 + t_2 + t_3 \quad c3 := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad c4 := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

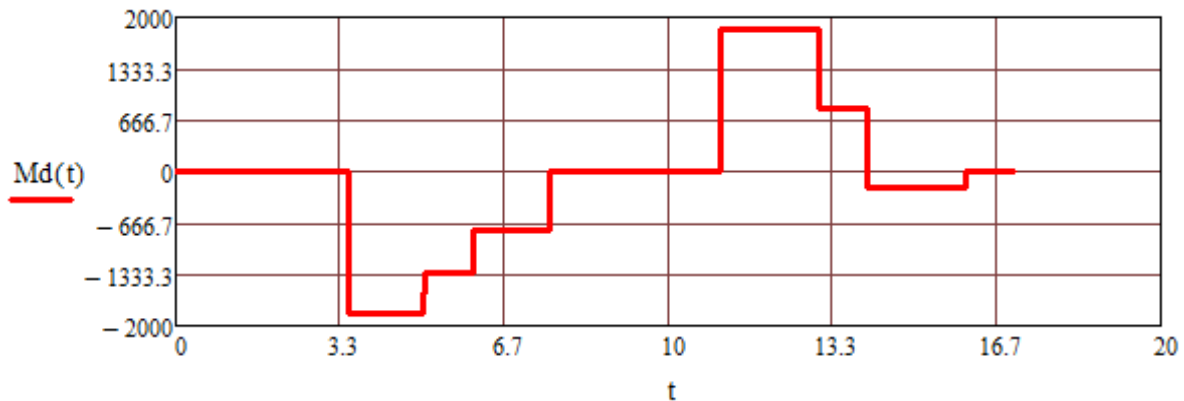
$$c5 := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad c6 := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7$$

$$c7 := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 \quad C1(t) := \text{if}(c6 < t \leq c7, M1_{дв}'', 0)$$

$$C(t) := \text{if}(c3 < t \leq c4, 0, \text{if}(c4 < t \leq c5, M_{дв}'', \text{if}(c5 < t \leq c6, M_{ст}'', C1(t))))$$

$$Md(t) := \text{if}(t \leq t_1, 0, \text{if}(t_1 < t \leq c1, -M_{дв}', \text{if}(c1 < t \leq c2, -M_{ст}', \text{if}(c2 < t \leq c3, -M1_{дв}', C(t)))))$$

Нагрузочная диаграмма двигателя:



13. Расчет эквивалентного момента  $M_0 := 0$

$$M_{дв}' = 1841.504 \quad M_{ст}' = 1304.06 \quad M1_{дв}' = 766.615 \quad M_{дв}'' = 1838.245 \quad M_{ст}'' = 817.1 \quad M1_{дв}'' = -204.044$$

$$M_{эКВ} := \sqrt{\frac{M_0^2 \cdot t_1 + M_{дв}'^2 \cdot t_2 + M_{ст}'^2 \cdot t_3 + M1_{дв}'^2 \cdot t_4 + M_0^2 \cdot t_5 + M_{дв}''^2 \cdot t_6 + M_{ст}''^2 \cdot t_7 + M1_{дв}''^2 \cdot t_8}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8}}$$

$$M_{эКВ} = 975.663 \quad \text{Нм} \quad M_{НОМ} := \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_n}{n} \quad M_{НОМ} = 1018.592 \quad \text{Нм}$$

$$M_{эКВ} \leq M_{НОМ} \quad \text{Двигатель по теплу выбран верно}$$

Уточнение мощности двигателя

$$T_{\text{ц}} := t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 \quad \text{время цикла, с} \quad T_{\text{ц}} = 19.54 \quad \text{сек}$$

$$T_{\text{цр}} := t_2 + t_3 + t_4 + t_6 + t_7 + t_8 \quad \text{время работы механизма, с} \quad T_{\text{цр}} = 9.04 \quad \text{сек}$$

Стандартный ряд ПВ, % - 15, 25, 40, 60, 100

$$\text{Расчет ПВ} \quad \text{ПВ}_{\text{роз}} := \frac{100 \cdot T_{\text{цр}}}{T_{\text{ц}}} \quad \text{ПВ}_{\text{роз}} = 46.264 \quad \text{Следует взять такой ПВ, \%} \quad \text{ПВ}_{\text{станд}} := 60$$

Для предварительного расчета коэффициент запаса принят 1.1  $k_3 := 1.1$

$$\text{Расчетная мощность двигателя} \quad P_{\text{раз}} := k_3 \cdot \frac{M_{\text{экв}} \cdot n \cdot \pi \cdot 100}{30 \cdot \eta_{\text{д}} \cdot 1000} \quad P_{\text{раз}} = 180.302 \quad \text{кВт}$$

$$\text{Мощность двигателя с учетом ПВ} \quad P_{\text{станд}} := P_{\text{раз}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{роз}}}{\text{ПВ}_{\text{станд}}}} \quad P_{\text{станд}} = 158.3 \quad \text{кВт}$$

двигатель выбран верно  $P_{\text{станд}} \leq P_{\text{д}}$

#### 14. Проверка двигателя по перегрузочной способности

$$M_{\text{макс}} := M_{\text{ном}} \cdot \lambda \quad M_{\text{макс}} = 1935.324 \quad \text{Момент макс. нагр.} \quad M_{\text{дв}}' = 1841.504$$

$$M_{\text{дв}}' \leq M_{\text{макс}} \quad \text{Двигатель по перегрузке выбран верно}$$

#### 15. Расчет мощности преобразователя

$$I_{\text{н}} := \frac{P_{\text{н}}}{3 \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} \quad I_{\text{н}} = 154.232 \quad \text{А} \quad \text{Необходимые параметры для выбора преобразователя}$$

$$P_{\text{р}} := \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{д}} \cdot 10} \quad P_{\text{р}} = 171.123 \quad \text{кВт}$$



## Приложение Б

### Расчет параметров векторной системы управления

#### Исходные данные:

$$P_n := 160 \quad r_1 := 0.018$$

$$U := 380 \quad r_2 := 0.017$$

$$n_0 := 1500 \quad x_1 := 0.107$$

$$S_n := 0.02 \quad x_2 := 0.15$$

$$k_{pd} := 0.935 \quad x_m := 4.6$$

$$\cos_{fi} := 0.91 \quad J_d := 17.9$$

$$f := 50 \quad \pi := 3.14$$

+

#### Вычисление переменных для построения модели:

$$w_0 := 2 \cdot \pi \cdot f = 314$$

$$w_0 = 314$$

$$p := \frac{3000}{n_0}$$

$$p = 2$$

$$w_{max} := \frac{(\pi \cdot n_0)}{30}$$

$$w_{max} = 157$$

$$I_{fn} := \frac{(P_n \cdot 1000)}{3 \cdot U \cdot k_{pd} \cdot \cos_{fi}}$$

$$I_{fn} = 164.954$$

$$M_n := \frac{(9.55 \cdot P_n \cdot 1000)}{n_0 \cdot (1 - S_n)}$$

$$M_n = 1.039 \times 10^3$$

$$Z_b := \frac{U}{I_{fn}}$$

$$Z_b = 2.304$$

$$R_1 := r_1 \cdot Z_b$$

$$R_1 = 0.041$$

$$R_2 := r_2 \cdot Z_b$$

$$R_2 = 0.039$$

$$X_1 := x_1 \cdot Z_b$$

$$X_1 = 0.246$$

$$X_2 := x_2 \cdot Z_b$$

$$X_2 = 0.346$$

$$X_m := x_m \cdot Z_b$$

Сод.	Лист.	№ докум.	Подпись	Дат

$$L_{_1} := \frac{X1}{w0}$$

$$Xm = 10.597$$

$$L_{_2} := \frac{X2}{w0}$$

$$L_{_1} = 7.85 \times 10^{-4}$$

$$L_{_2} = 1.1 \times 10^{-3}$$

$$Lm := \frac{Xm}{L_{_2}}$$

$$Lm = 9.629 \times 10^3$$

$$L1 := L_{_1} + Lm$$

$$L1 = 9.629 \times 10^3$$

$$L2 := L_{_2} + Lm$$

$$k2 := \frac{Lm}{L2}$$

$$L2 = 9.629 \times 10^3$$

$$k2 = 1$$

$$L_{_ekv} := L_{_1} + k2 \cdot L_{_2}$$

$$L_{_ekv} = 1.885 \times 10^{-3}$$

$$R_{_ekv} := R1 + (k2^2) \cdot R2$$

$$R_{_ekv} = 0.081$$

$$T_{_ekv} := \frac{L_{_ekv}}{R_{_ekv}}$$

$$T_{_ekv} = 0.023$$

$$T2 := \frac{L2}{R2}$$

$$T2 = 2.459 \times 10^5$$

$$\psi := \frac{Mn}{1.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1.9 \cdot Ifn \cdot p \cdot k2}$$

$$\psi = 0.782$$

$$Uy := 10$$

$$k_{_toka} := \frac{Uy}{\sqrt{2} \cdot 1.9 \cdot U}$$

$$k_{_toka} = 9.794 \times 10^{-3}$$

$$k_{_skor} := \frac{U}{w_{_max}}$$

$$k_{_skor} = 2.42$$

$$k_{_psi} := \frac{Uy}{\psi}$$

$$k_{_psi} = 12.792$$

$$k_{_p} := \sqrt{2} \cdot \frac{U}{Uy}$$

$$k_{_p} = 53.74$$

$$Tmiy := 0.005$$

$$Up_{_psi} := 10$$

$$Urs := 10$$

$$W1 := \frac{(k2 \cdot p)}{k_{_p} \cdot k_{_skor} \cdot k_{_psi}}$$

$$W1 = 1.202 \times 10^{-3}$$

$$W2 := \frac{k2}{k_{_p} \cdot T2 \cdot k_{_psi}}$$

$$W2 = 5.916 \times 10^{-9}$$

$$W3 := \frac{(L_{_ekv} \cdot p)}{k_{_toka} \cdot k_{_skor} \cdot k_{_p}}$$

$$W3 = 2.96 \times 10^{-3}$$

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

		Обозначение	Наименование	Кол-во листов	Примечание
			<u>Документация</u>		
1	A4	ЕП.ПД.18.15.ПЗ	Пояснительная записка	63	
2	A4	ЕП.ПД.18.15.Д.ПЗ	Приложение	9	
			<u>Графические материалы</u>		
3	A1	ЕП.ПД.18.15.ТЧ	Технологическая часть прокатной клетки блюминга.	1	
4	A1	ЕП.ПД.18.15.ЭС	Автоматизированный электропривод. Выбор электродвигателя и частотного преобразователя. Паспортные данные и схема подключения.	1	
5	A1	ЕП.ПД.18.15.ФС	Исследование динамики электропривода. Модель в Simulink. Диаграмма переходных процессов.	1	
6	A1	ЕП.ПД.18.15.ЭС	Охрана труда и технико-экономическое обоснование.	1	