**Введение**

Бурный технический прогресс в области электротехники и электроники, наблюдающийся в последние годы, привел к существенным изменениям в теории и практике электрического привода. Эти изменения прежде всего касаются создания новой элементной базы и технических средств автоматизации, быстрого расширения областей и объемов применения регулируемого электропривода, который преимущественно реализуется в виде тиристорного и транзисторного электропривода постоянного и переменного тока. В последнее время все больший интерес и развитие получает управляемый синхронный привод, являющийся самым перспективным видом электропривода по многим важным показателям. Существенные изменения произошли также в развитии автоматических систем управления электроприводами. Эти системы характеризуются преимущественным использованием принципов подчиненного регулирования, расширением практического применения адаптивного управления, развитием работ по векторным принципам управления электроприводами с двигателями переменного тока, применением аналоговых и цифроаналоговых систем управления на базе интегральных микросхем. Все шире используются управляющие вычислительные машины различных уровней, развиваются работы про прямому цифровому управлению электроприводами.

Целью данного курсового проекта является разработка электропривода для механизма передвижения тележки, выбор оптимальной системы управления с учетом технико-экономических показателей, а также проверка выбранной системы на отработку заданных перемещений.

**1. Определение режимов работы механизма**

* 1. **Выбор основных параметров**

**1.1.1 Определение режимов работы крана**

Режим работы крюковых опорных двух балочных кранов регламентированы ГОСТ 25711–83 (грузоподъемность 5–50 т) и ГОСТ 24378–80 (гост на технические условия).

По ГОСТ 25546–82 режим работы для кранов, управляемых из кабины относится к группе 5К-7К [2].

Данный режим характеризуется следующими особенностями; постоянная работа с грузами, близкими по массе к номинальным, с высокими скоростями, большим числом включений, высокой продолжительностью включения ПВ.

Такой режим характерен для механизмов технологических кранов, цехов и складов на заводах с крупносерийным производством, кранов литейных цехов и механизмы подъема строительных кранов.

При интенсивном использовании общее число циклов работы крана за срок его службы составляет 500000..1000000, что соответствует классу использования С6 согласно [1], табл. 1.2.6.

При постоянной работе крана с грузом относительно большой массы, приближающейся к номинальной класс нагружения соответствует Q4 [1], табл. 1.2.7.

Группа режима работы крана определяется по известным классу использования и классу нагружения крана. По таблице 1.2.8 [1] выбираем группу режима 7К.

**1.1.2 Определение режимов работы механизма**

Привод передвижения монорельсового подвесного транспортного робота. Схема кинематическая.

Рис. 1

Для передачи вращающегося момента с вала двигателя на редуктор

служит упругая втулочно-пальцевая муфта с тормозным шкивом (МУВП-250) [1] (т. 2, табл.V.2.41, с. 308).

Тихоходный вал редуктора передает вращающийся момент на ходовые колеса через зубчатую муфту.

Редуктор конический

Скорость передвижения тележки: Vmax=2 м/с

Диаметр ходового колеса (для грузоподъемности 1т):

*Dk*=*0,2 м*, [2](табл. 12.17, с. 204), чему соответствует диаметр цапфы:

*dц*=*0,05 м*, [1] (т. 2, табл.V.2.43, с. 314).

*h=0.04 м –* толщина колеса

Произведем расчет статического момента двигателя

МСТДВ=,

где*: kp -* коэффициент, учитывающий трение о реборды (*kp=2*), [6]

(табл. П-6, с. 349);

*Gmax –* максимальный вес груза;

*μ –* коэффициент трения скольжения (*μ=0,02)*, [6] (табл. П-4);

*f –* коэффициент трения качения (*f=0.4\*10-3*), [6] (табл. П-5);

*ηм –* КПД механизма.

*Gmax=mmax\*g=900\*9,81=8829 H;*

КПД механизма:

*ηм=ηМУВП\*ηЗУБ.М\*ηр=0 , 99\*0,99\*0,96=0,93,*

где *ηМУВП=ηЗУБ.М=0,99; ηр=0,96* [1] (т. 2, табл.V.1.70, с. 237).

*МСТДВ==3,287 H\*м;*

Примем скорость двигателя равной 104,72 рад/с, так как в этом случае мы получаем самые маленькие массогабаритные показатели на единицу мощности.

Принимаем ближайшее число из ряда стандартных передаточных чисел редуктора

Рассчитаем допустимое ускорение при пуске, при котором не будет проскальзывания колеса:

 коэффициент запаса сцепления при работе без ветровой нагрузки.

 коэффициент сцепления приводных колес с рельсом для закрытых помещений

 – минимальная нагрузка на приводное колесо

Предварительно выберем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АИМ 80 А6 с условиями эксплуатации У5, со следующими параметрами:

*P2=0,75кВт*

*W=1000 об/мин*

*η=72,1%*

*cosφ=0.74*

*sном=7%*

*Iп/Iном=4,5*

*Мп/Mном=1,8*

*Мmin/Мном=1,2*

*Мmax/Мном=2*

*Jдв=0,0034 кг\*м2*

Определим приведенный к валу двигателя момент инерции механизма:

*Jпр.мех=*

Суммарный момент инерции будет определяться как

Рассчитаем момент инерции колеса

Теперь посчитаем допустимое угловое ускорение при котором не будет проскальзывания колеса

**1.2 Расчет нагрузочных характеристик и выбор двигателя**

Рассчитаем скорость дотягивания, при которой будет обеспечиваться нужная ошибка позиционирования 0,005 м

С запасам принимаем скорость дотягивания на 35% равной 0,05 м/с

Зададимся временем дотягивания Т=1с и линейным ускорением

Определим параметры рабочего цикла при прохождении 1-ого участка без остановки (S=4 м):

Характеристики рабочего цикла.

Рассчитаем параметры рабочего цикла

;

;

Выбираем время движения со скоростью дотягивания ;

;

выразим Vx1, до которой разгонится механизм

;

;

Далее произведем расчет для случаев когда механизм успевает выйти на максимальную скорость VMAX=2 м/с

При S2=8 м

;

;

Аналогично посчитаем параметры рабочего цикла при S3=12 м, S4 =16 м и S5=20 м

При S3=12 м

;

;

;

При S4=16 м

;

;

При S5=20 м

;

;

Выбор электродвигателя производится из условий эксплуатации и требований, предъявляемых к системе.

Так как в данном электроприводе нагрузка на валу двигателя меняется в достаточно широких пределах, произведём выбор электродвигателя по эквивалентному моменту.

Для разных случаев посчитаем Мекв и выберем наихудший режим

принимая tОСТ=19с

1. Когда делаем 5 остановок (1+1+1+1+1)

Аналогично посчитаем Мекв для других случаев

1. Когда делаем 3 маленьких и одну большую остановку (1+1+1+2)

3) Когда делаем 2 маленьких и одну большую остановку (1+1+3)

4) Когда делаем 1 маленьких и одну большую остановку (1+4)

5) Делаем одну большую остановку (5)

6) Делаем одну маленькую и две больших (1+2+2)

7) делаем две остановки (3+2)

Максимальный эквивалентный момент будет при 7 случае.

Рис. 7 случай

Выбираем более мощный двигатель с запасом по мощности

АИМ 80 В6

* номинальная мощность

* частота вращения

* номинальная величина скольжения

* номинальное напряжение сети

* коэффициент полезного действия

* коэффициент активной мощности

* перегрузочная способность

* кратность пускового момента

* кратность пускового тока

* момент инерции ротора:

– исполнение двигателя: IP44

– условие эксплуатации У5

Определим номинальный момент двигателя:

Т.к. номинальный момент нашего двигателя удовлетворяет условию Мном>Мэкв, то он нам подходит.

# **Произведем расчет статических характеристик электропривода и выполним проверку двигателя по нагреву.**

Выберем из таблицы аналогичный по высоте оси вращения и числу пар полюсов двигатель серии 4А и возьмем относительные значения его сопротивлений.

Пересчитаем параметры обмоток асинхронного двигателя из относительных единиц в абсолютные:

Электрическая мощность, забираемая из сети в номинальном режиме:

 (11)

Номинальный ток одной фазы:

 (12)

Полное сопротивление одной фазы:

 (13)

Умножим на Zн все параметры схемы замещения:

Для расчета статических механических характеристик воспользуемся уточненной формулой Клосса:

Закон управления будет заключаться в том, чтобы критический момент оставался постоянным Мк=23,65Н\*м

Параметры рабочих режимов для случая 7 сведены в таблицу 1

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ωдв, рад/с | 104,72 | 2,65 | 0 | 104,72 | 2,65 | 0 |
| Мс, Н·м | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 | 3,28 |

Будем считать, что для формирования необходимых нам статических характеристик система управления электроприводом реализует закон управления ,

При этом можно записать:

В установившемся режиме двигатель работает при скоростях и .

Рассчитаем механические характеристики на участках:

1) при ω01=104,72 с-1

Напряжение на выходе преобразователя:

Частота тока на выходе преобразователя:

2) при ω02=2,65 с-1

Напряжение на выходе преобразователя:

Частота тока на выходе преобразователя:

Пункты 3 и 4 будут аналогичны соответственно пунктам 1 и 2

Расчёт переходных процессов в электроприводе.

Произведем линеаризацию характеристик на рабочем участке.

Так как при малом ускорении динамический момент мал, можно рассматривать переходный процесс как для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (с линейной характеристикой).

Ускорение обеспечивается при помощи задатчика интенсивности.

Рассчитаем данные для построения переходных процессов:


#

# **Проверка выбранного двигателя по нагреву**

Тепловые процессы в двигателях в нормальных условиях, благодаря, большой тепловой инерции протекают замедленно, поэтому быстрые изменения нагрузки и, соответственно, тепловыделения фильтруются и зависимость превышения температуры τ(t) сглаживается тем в большей степени, чем меньше время цикла, в сравнении с постоянной времени нагрева Тн двигателя.

Для нашего электропривода условие tц =125,87с<<Tн=45 мин и, как выше было отмечено, через некоторое время после начала работы наступает установившийся тепловой режим, при котором превышение температуры колеблется относительно среднего значения τср в узких пределах.

Произведём проверку выбранного двигателя по нагреву, с использованием метода средних потерь, суть которого заключается в вычислении средних потерь двигателя за рабочий цикл и сравнения их с потерями двигателя при работе в номинальном режиме:

 (23)

Суммарные потери в асинхронном двигателе:

; (24)

Постоянные потери в номинальном режиме:

 (25)

Номинальные потери двигателя определяются как:

 (26)

Переменные потери в номинальном режиме, с учетом намагничивающих потерь:

 (27)

где

При частотном способе регулирования скорости асинхронного двигателя постоянные потери определяются следующим выражением:

 (28)

Считая, что: , определим постоянные потери в двигателе для каждого интервала рабочего цикла:

Переменные потери:

Ток статора определяется по формуле:

 (1)

Приведенный ток ротора определяем по формуле:

 (2)

Определим токи ротора для каждого интервала рабочего цикла

Подставим уравнение (1) в (2), получим расчетную формулу для определения переменных потерь для каждого интервала рабочего цикла:

 (3)

Суммарные потери в асинхронном двигателе для каждого интервала рабочего цикла:

Средние потери двигателя за рабочий цикл равны:

 (4)

коэффициент, учитывающий ухудшение вентиляции.

=0,5 – коэффициент ухудшения вентиляции при неподвижном роторе.

ti-время i-го интервала.

Сравним средние потери двигателя за рабочий цикл с потерями двигателя при работе в номинальном режиме:

 (33)

Таким образом, перегрузка двигателя составляет менее 10%. Следовательно, двигатель удовлетворяет требованиям по перегрузке.

**2. Выбор системы управления**

**2.1 Технико-экономическое обоснование**

По кривым на рис. 1.3 [2] (с. 12) определяем, что для скорости передвижения тележки V=0.68 м/с и точности остановки v=20 мм требуется обеспечить диапазон регулирования D=1:10.

Данному диапазону и установленной мощности электродвигателя удовлетворяют следующие системы управления [2] (табл. 15.2, с. 254):

* ТП-ДПТ: система тиристорный преобразователь – электродвигатель постоянного тока;
* КИ-АДФ: силовой контроллер с импульсно-ключевым регулированием скорости – асинхронный двигатель с фазным ротором;
* ПЧИ – АД: система преобразователь частоты инверторного типа – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором;

С точки зрения удельной стоимости (для мощности 2…5кВт) все системы занимают равные положения, но сравнивая массогабаритные показатели и степень сложности исполнения системы, предпочтение получает система КИ – АДФ.

Выбор вида электропривода подтверждается на основе анализа экономических и массогабаритных показателей. Проанализируем две системы управления: КИ-АДФ и ТП-Д по методике, изложенной в [1] (т. 1, п.II.1., с. 231).Экономическая оценка производится по формуле:

А=,

Где

А – показатель затрат, руб.;

P=2,7кВт – номинальная мощность электродвигателя;

Sk= – число включений за год работы [1] (табл.II.1.3.);

SДОП= – для КИ-АДФ и SДОП= – для ТП-Д – износостойкость электропривода [1] (табл.II.1.2.);

T=150 часов – в год [1] (табл.II.1.3.);

NВК=120 – число включений в час [1] (табл.II.1.3.);

γ=2,5 – коэффициент, характеризующий приведенные моменты инерции механизмов.

β=1 для КИ – АДФ и β=0,4 для ТП-Д – коэффициент, определяющий потери при пуске, торможении и регулировании скорости.

*СДВ* – удельная стоимость 1 кВт мощности электродвигателя, руб./кВт

[1] (табл.II.1.4.);

*СДВ КИ-АДФ=*50 руб./кВт; *СДВ ТП-Д*=120 руб./кВт;

*СУ –* удельная стоимость управляющего устройства на 1кВт мощности двигателя, руб./кВт. [1] (табл.II.1.4.);

*СУ КИ-АДФ=*10 руб./кВт и *СУ ТП-Д*=250 руб./кВт.

АКИ-АДФ= *=162+108+16=286 руб.*

АТП-Д= *=999+10+6,4=1015,4 руб.*

Так как экономические показатели этих двух систем значительно различаются друг от друга, то массогабаритные показатели можно не сравнивать.

Затраты на систему КИ-АДФ меньше, поэтому ей и отдаем предпочтение.

**2.2 Расчет параметром двигателя**

Критическое скольжение:

, где -номинальное скольжение.

- синхронная частота вращения;



- номинальная частота вращения;



Тогда:

*MH*-номинальный момент двигателя;

*MH*=

Таким образом:

Отношения сопротивлений:

*a*=*0.264*

Сопротивление статора:

Приведенное сопротивление ротора:

.

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

Проверка двигателя по пусковому моменту:

Для того чтобы двигатель разогнался, необходимо выполнение следующего условия:

*Mп*

*Mп=*

49,5>(1,5…2)\*18,9 – условие выполняется.

**3. Расчет переходных процессов в электроприводе**

Система уравнений для электропривода с линеаризованной механической

Характеристикой будет выглядеть следующим образом:

,

где β – жесткость электропривода;

;

g – проводимость машины;

с2 – постоянная машины;

;

 – электромагнитная постоянная;

Регулятор проводимости ротора пропорционально – интегральный (ПИ), то есть:

При настройке контура скорости на симметричный оптимум, имеем:

Для ограничения момента и поддержания постоянным ускорения необходим задатчик интенсивности.

Ниже представлена модель для расчета переходного процесса и результаты моделирования. Моделирование выполнено на программном комплексе МИК-АЛ.

$ВВОД

КОНСТ Wz=8.8, J1=1.109, J2=0.502, Te=0.0055, Mc1=15.9, Mc2=5.2, R2=6.21,

Jmin=0.502, W0=104.7, Em=27, C2=11.5

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

КОНСТ Krg=(Jmin/2/Te), Trg=(40\*Te\*Te/Jmin), gm=(1/R2), dJ=(J1-J2), dMc=(Mc1-Mc2)

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

1V V=Wz

2V V=-Wz T=29

3V V=-Wz T=120

4V V=Wz T=149

5U W=1 ВХ=1+2+3+4

6V V=J1

7V V=-dJ T=120

8U W=1 ВХ=6+7

9V V=Mc1

10V V=-dMc T=120

11U W=1 ВХ=9+10

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*РЕГУЛЯТОРЫ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

12U W=1 ВХ=21+31

13N ДЕЛ ВХ=12+14

14N МОДУЛЬ ВХ=23

15U W=Krg ВХ=13

16C ИНТ\_ОГР ПАР=1, Trg, gm, 0 ВХ=13

17N ОГРАН ПАР=gm ВХ=15+16

18N МОДУЛЬ ВХ=17

19N РЕЛЕ ПАР=W0 ВХ=17

32D Z\_H ВХ=19

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*ЗАДАТЧИК ИНТЕНСИВНОСТИ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

20N РЕЛЕ ПАР=Em ВХ=5+22

21L W=1/P ВХ=20

22U W=-1 ВХ=21

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*ОБЬЕКТ УПРАВЛЕНИЯ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

23U W=C2 ВХ=32+31

24N УМН ВХ=23+18

25L W=1/Te\*P+1 ВХ=24

38N УМН ВХ=25+37

26U W=1 ВХ=38+30

27N ДЕЛ ВХ=26+8

28L W=1/P ВХ=27

29N РЕЛЕ ПАР=-1 ВХ=28

30N УМН ВХ=29+11

31U W=-1 ВХ=28

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*ПРОСТОЙ ДВИГАТЕЛЯ\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

33V V=1

34V V=-1 T=32.4

35V V=1 T=120

36V V=-1 T=152.4

37U W=1 ВХ=33+34+35+36

70N УМН ВХ=37+30

71U W=-1 ВХ=70

\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*ПАРАМЕТРЫ ЭКСПЕРИМЕНТА \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*

ИНТ RKT4

ШАГ ИНТ=0.008

ШАГ ВЫВ=0.1

КОН ВР=200

ВЫХОДЫ 28=W, 38=M, 71=Mc, 26=Mdin

ВЫВОД 28,38,71,26

$КОН

$СТОП

Результаты моделирования.


#### Рис. 9

Пуск электропривода на номинальную скорость (ω=88 рад/с)

Пуск электропривода на номинальную скорость (ω=88 рад/с) при пониженном моменте инерции.

Рис. 10

Пуск электропривода на минимальную скорость (ωmin=0.1\*ωnom= 8.8 рад/с)

Пуск электропривода на минимальную скорость пониженном моменте инерции.

Рис. 11

При пуске двигателя на минимальную скорость, время пуска tп существенно меньше, чем на номинальную скорость. Из-за этого пусковой момент не успевает выйти на устанавившееся значение и сразу же изменяется до значения Mст1.

И при максимальном и при минимальном заданиях двигатель развивает необходимую скорость (88 рад/с и 8.8 рад/с).

На графиках для опытов с пониженными моментами инерции видно, что пусковой момент снижается (М’п1<Мп1).Следовательно, снижается и потребляемая из сети энергия, пропорциональная моменту и угловой скорости. Снизить моменты инерции механизма можно, уменьшив массу тележки или диаметр ходового колеса. Но для этого надо внедрять новые материалы, обеспечивающие те же конструкционные характеристики при меньшей массе и диаметр В этом курсовом проекие рассмотрены групповой электропривод, то есть от одного электродвигателя управление осуществляется двумя исполнительными органами (колеса тележки). Структурная схема системы управления составлена для индивидуального однодвигательного привода, так как диаметры валов, передающих врашение колесам, не превышают 8000 мм и считаем муфты на них жесткими.

**Заключение**

В данном курсовом проекте была проведена следующая работа:

– выбор основных технических параметром тележки по прототипу.

* расчет нагрузочных характеристик и выбор двигателя.
* Проверка выбранного двигателя по нагреву.
* Технико-экономический анализ систем управления.
* Выбор системы управления.
* Моделирование переходных процессов в электроприводе.

Комплексный анализ всех вышеперечисленных пунктов свидетельствует о правильности решения задачи в целом: выбранный двигатель работает на всю свою мощность, а импульсно – ключевая система управления отрабатывает задание с минимальной ошибкой регулирования даже на малых скоростях.

Торможение привода осуществляется противовключением до некоторой скорости, при которой оно уже неэффективно. Вторым этапом является механическое торможение. Причем механический тормоз включается заранее (с учетом его времени срабатывания 0,2с), так чтобы останов завершился к концу интервала tT.

**Список литературы**

1. Справочник по кранам: В 2 томах. Том 1. Под общей редакцией М.М. Гохберга. – М.: «Машиностроение», 1988.
2. Справочник по кранам: В 2 томах. Том 2. Под общей редакцией М.М. Гохберга. – М.: «Машиностроение», 1988.
3. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. М., «Энергия».
4. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – Москва: «Энергоатомиздат»; 1986.

5. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

6. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред.

Елисеева В.А. и Шинянского А.В. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

7. Шенфельд Р., Хабигер Э. Автоматизированные электроприводы. Пер. с нем./ Под ред. Борцова Ю.А. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.

8. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/ Под ред.

Круповича В.И. и др. – М.: Энергоатомиздат, 1982.

9. Справочник по электрическим машинам. В 2-х т. М.: Энергоатомиздат, 1988.