МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические рекомендации к курсовому проектированию для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» очной и заочной форм обучения

Могилёв 2019

УДК 62-83
ББК 31.291
А 22

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и АПУ» «4» февраля 2019 г., протокол № 7

Составитель ст. преподаватель Л. В. Жесткова

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. М. Ковальчук

Рассмотрены вопросы методики проектирования электрооборудования типовых производственных и транспортных механизмов, даны рекомендации по оформлению расчётно-пояснительной записки и выполнению графической части курсового проекта, приведены варианты заданий на курсовое проектирование.

Учебно-методическое издание

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
И ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Ответственный за выпуск Г. С. Леневский

Технический редактор А. А. Подошевко

Компьютерная вёрстка М. А. Меленяко

Подписано в печать . Формат 60x84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 115 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилёв.

© Белорусско-Российский
университет, 2019

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Содержание

1 Цель курсового проектирования 4
2 Техническое задание 4
3 Содержание и состав курсового проекта 4
4 Организация проектирования 5
5 Рекомендации к выполнению отдельных разделов проекта 7
5.1 Техническая характеристика типового производственного механизма . 7
5.2 Выбор и обоснование типа электропривода механизма 7
5.3 Выбор электродвигателей, преобразователей 8
5.4 Выбор структуры системы регулирования 8
5.5 Разработка схемы электрической принципиальной силовой части электрооборудования и схемы управления 8
5.6 Разработка монтажа электрооборудования 9
5.7 Рекомендации по составлению раздела «Заключение» 10
6 Варианты заданий на курсовое проектирование 10
7 Методические рекомендации проектирования электрооборудования мостовых кранов 10
7.1 Расчёт и выбор узлов механизма подъёма 10
7.2 Расчёт механизма передвижения тележки 14
7.3 Расчёт механизма передвижения моста 16
7.4 Выбор контроллеров, аппаратуры управления и защиты 17
7.5 Расчёт и выбор пускорегулирующих сопротивлений и построение механических характеристик 17
Список литературы 19
Приложение А. Перечень вопросов, подлежащих разработке 20
Приложение Б. Примеры титульных листов 21
Приложение В 23

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

1 Цель курсового проектирования

Целью курсового проекта является закрепление теоретических знаний по курсу «Автоматизированный электропривод типовых производственных и транспортных механизмов», а также развитие навыков самостоятельной творческой работы студентов на заключительном этапе обучения перед дипломным проектированием. Данный проект является первой пробой самостоятельного решения реальной инженерной задачи.

В курсовом проекте выполняется разработка системы автоматизированного электропривода одного из механизмов рабочей машины или установки: насоса, вентилятора, конвейера, лифта, подъёмного крана и т. п.

Выполняя курсовой проект, студент должен показать умение применять полученные им теоретические знания для решения практических задач, таких как: выбор системы автоматизированного электропривода, удовлетворяющего предъявленным требованиям; оценка технико-экономических показателей; разработка схемы электрической принципиальной; разработка монтажа электрооборудования.

Проектирование должно быть основано на максимальном использовании конструкций существующих электрических аппаратов и унифицированных узлов, а также типовых электроприводов отдельных механизмов.

2 Техническое задание

Задание на курсовой проект выдаётся руководителем проекта. Оно включает в себя тему проекта, исходные данные к проекту, особые технические условия на проектирование, перечень подлежащих разработке вопросов и перечень графического материала, календарный график работы над проектом с указанием сроков выполнения и трудоёмкости отдельных этапов.

Перечень вопросов, подлежащих разработке, приведён в приложении А.

При выдаче задания руководитель проекта может внести некоторые изменения в состав расчётной и графической частей проекта.

3 Содержание и состав курсового проекта

Курсовой проект содержит пояснительную записку и графическую часть. Состав пояснительной записки определяется приложением А. Настоящий проект может носить исследовательский характер по теме дипломного проектирования, в этом случае содержание проекта может быть изменено. Объём пояснительной записки зависит от сложности разрабатываемой системы электропривода, но не должен превышать 30–40 страниц текста с необходимыми таблицами, схемами, приложениями (формат А4).

Пояснительная записка должна включать:

– титульный лист (приложение Б);

– задание на курсовое проектирование;

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

– содержание;
– введение;
– расчётную часть;
– заключение;
– список литературы;
– приложения;
– проектную документацию.

Оформление пояснительной записки производится в строгом соответствии с правилами выполнения текстовых документов согласно ГОСТ 2.105–95.

Графическая часть проекта состоит из трёх листов формата А1, выполненных в соответствии с требованиями ЕСКД.

Состав графической части проекта:
– схема электрическая принципиальная;
– схема электрическая соединений электрооборудования на установке;
– сборочный чертёж размещения электрооборудования на установке.

4 Организация проектирования

Успешное и качественное выполнение курсового проекта возможно только при соблюдении определённой последовательности работы над заданием. Далее предлагается следующий порядок работы над курсовым проектом.

Первый этап. Подбор литературы по теме, ознакомление с технической характеристикой производственного механизма (изучение конструкции механизма, принципа работы, технических требований и особых условий эксплуатации электрооборудования). Вычерчивание кинематической схемы, нагрузочной диаграммы механизма.

Второй этап. Выбор и обоснование системы электропривода производственного механизма. Расчёт и выбор электродвигателей. Выбор преобразователей. Обоснование и выбор структуры системы регулирования. Разработка схемы электрической принципиальной силовой части электрооборудования.

Третий этап. Разработка схемы электрической принципиальной системы управления. Обоснование выбора элементной базы схемы управления, выбор источников питания, разработка алгоритма работы схемы управления, разработка схемы электрической принципиальной и описание её работы, расчёт и выбор электроаппаратуры.

Четвёртый этап. Разработка монтажа электрооборудования. Выбор типа монтажа, выбор элементов монтажа, расчёт и выбор проводов. Решение вопросов техники безопасности. Разработка схемы электрических соединений электрооборудования на установке и сборочного чертежа расположения электрооборудования на установке.

Пятый этап. Составление перечня элементов, спецификации и таблицы соединений. Оформление пояснительной записки.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Следует учесть, что предложенный порядок проектирования является наиболее предпочтительным. С учётом продолжительности семестра и трудоёмкости проекта в таблице 4.1 предлагается график работы над проектом.

Таблица 4.1 – График работы над проектом

Этап	Трудоёмкость	Неделя семестра															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	20 %	X	X	X													
II	20 %				X	X	X										
III	20 %							X	X	X							
IV	20 %										X	X	X				
V	20 %													X	X		
Защита																X	X

Отдельные части проекта должны быть выполнены и представлены для проверки руководителю в сроки, указанные в графике проектирования. Это даёт возможность своевременно исправить допущенные ошибки и организовать ритмичную работу над проектом в течение семестра. Выполненный и подписанный руководителем проект защищается студентом перед комиссией, назначенной кафедрой.

Примерный перечень этапов выполнения курсового проекта и количество баллов за каждый из них представлены в таблице 4.2.

Итоговая оценка курсового проекта представляет собой сумму баллов за выполнение и защиту курсового проекта и выставляется в соответствии с приведенной в таблице 4.3 шкалой по десятибалльной системе оценок.

Таблица 4.2 – Этапы выполнения курсового проекта и баллы

Этап выполнения	Минимум	Максимум
Теоретические исследования проблемы, постановка задачи	9	15
Выбор и обоснование системы АЭП, разработка схемы электрической принципиальной силовой части	9	15
Разработка схемы электрической принципиальной системы управления	9	15
Разработка монтажа электрооборудования	6	10
Оформление пояснительной записки, графической части	3	5
Итого за выполнение курсового проекта	36	60
Защита курсового проекта	15	40

Таблица 4.3 – Шкала по десятибалльной системе оценок

Оценка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Балл	100…94	93…87	86…80	79…73	72…66	65…59	58…51	50…34	33…17	16…1

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

5 Рекомендации к выполнению отдельных разделов проекта

5.1 Техническая характеристика типового производственного механизма

Данный раздел выполняется на основании изучения технической и учебной литературы, относящейся к проектируемому объекту в соответствии с заданием.

В этом разделе необходимо привести описание технологического назначения производственного или транспортного механизма, краткое описание конструкции, принципа работы, построить нагрузочную диаграмму механизма. Привести кинематическую схему и выполнить расчёт элементов кинематической схемы, указать основные технические параметры механизма (а не электропривода). Далее, исходя из технических данных механизма, чётко сформулировать основные технические требования, предъявляемые к электроприводам отдельных механизмов установки в статике и динамике и к схеме управления (режимы управления, защиты, блокировки, сигнализация). При этом ряд показателей, таких как точность остановки, диапазон регулирования, определяется расчётным путём. Формулируются условия эксплуатации электрооборудования [1, 2, 16].

5.2 Выбор и обоснование типа электропривода механизма

Выбор и обоснование типа привода каждого механизма (например, для крана – привод механизма подъёма, привод механизма передвижения моста, привод передвижения тележки) производятся исходя из сравнения нескольких возможных вариантов использования электроприводов. При этом необходимо указать, какие из существующих систем электропривода удовлетворяют требованиям, сформулированным в подразделе 5.1. Затем путём сравнения основных показателей этих систем электропривода выбирается оптимальный вариант методом экспертных оценок [4]. При сравнении в первую очередь следует учитывать:

– потребность в регулировании скорости, диапазон регулирования, плавность и другие показатели регулирования;

– интенсивность работы (частоту пусков и торможения, характер приложения статического момента, вид механической характеристики рабочей машины).

Кроме того, нужно учитывать технико-экономические показатели возможных вариантов:

– энергетические показатели при пуске, торможении и регулировании скорости;

– надёжность.

Как правило, в курсовом проекте указанные вопросы решаются без расчёта технико-экономических показателей вариантов электропривода, приводятся лишь обоснованные соображения о преимуществах и недостатках

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

того или иного варианта. Сравнительная оценка приводится в виде таблицы или графика.

5.3 Выбор электродвигателей, преобразователей

Выбор исполнения и типа двигателей производится исходя из:

– режима работы электродвигателя;

– величин мощностей и частоты вращения исполнительного механизма, приведенных к валу двигателя (указанных в задании или рассчитанных по нагрузочной диаграмме методами, изученными в курсе «Теория электропривода»);

– условий эксплуатации электрооборудования;

– соответствия электродвигателя параметрам питающей сети.

Выбор двигателей производится по каталогам электрооборудования. Следует применять наиболее современные типы выпускаемых двигателей.

Зная параметры выбранного двигателя, для большинства механизмов можно построить точную нагрузочную диаграмму, с помощью которой предварительно выбранный двигатель проверяется по нагреву и перегрузочной способности.

При выборе типа преобразователя надо учитывать современные направления развития автоматизированного электропривода.

5.4 Выбор структуры системы регулирования

Исходя из требований к статическим и динамическим характеристикам электропривода, выбранной системы электропривода и с учётом современных тенденций в области управления, выбирается структура системы регулирования. Для выбранного варианта системы регулирования составляется функциональная схема, приводится её описание, выполняется расчёт и выбор элементов системы, включая пускорегулирующие сопротивления, строятся механические характеристики электропривода.

5.5 Разработка схемы электрической принципиальной силовой части электрооборудования и схемы управления

Схема электрическая принципиальная разрабатывается в следующей последовательности. Исходя из выбранной системы электропривода и её основных элементов, составляется принципиальная схема силовой части электрооборудования, включая цепи защиты [3].

Производятся выбор и обоснование элементной базы схемы управления. Выбираются род тока, величина напряжения цепей управления. Разрабатывается алгоритм работы схемы управления и приводится его описание. Разрабатывается схема электрическая принципиальная цепей управления, включая цепи сигнализации и защиты. Составляется описание принципиальной схемы. Основное внимание должно быть уделено описанию

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

тех узлов и элементов схемы, которые самостоятельно разработаны и которые существенно отличаются от узлов базовой модели, указанной в задании. Должны быть кратко перечислены все защиты и блокировки, обеспечиваемые схемой управления. При разработке схем сигнализации, блокировок и защит необходимо руководствоваться правилами устройства электроустановок, соображениями соблюдения правил техники безопасности и повышения надёжности работы схем. При ссылке на литературу нужно конкретно указать пункт (раздел) документа, на основании которого сделано обоснование.

Расчёт и выбор электроаппаратуры (пускателей, реле, автоматических выключателей и т. п.) производится по общим правилам и с учётом условий работы [5].

Порядок расчёта аппаратуры следующий:

– все элементы схемы разбиваются на функциональные группы (автоматические выключатели, тепловые реле, предохранители, пускатели, контакторы, реле, кнопки, датчики, сигнальные лампы и т. п.);

– для каждой группы формулируются основные условия выбора, приводятся расчётные формулы и выполняется расчёт одного элемента;

– расчёт остальных подобных элементов группы не приводится, а результаты расчёта представляются в табличной форме.

По результатам расчёта и выбора электроаппаратуры составляется перечень элементов. Оформление перечня элементов выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД.

5.6 Разработка монтажа электрооборудования

Разработка монтажа электрооборудования должна осуществляться при строгом соблюдении правил устройства электроустановок, правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, соответствующих ГОСТов и других нормативных материалов, обеспечивающих безопасные условия эксплуатации и безаварийную работу.

Изложение этого раздела выполняется в следующей последовательности:

– исходя из условий эксплуатации электрооборудования и конструктивного исполнения, следует выбрать тип (метод) монтажа основного электрооборудования и технические условия на монтаж;

– раскрыть вопросы, связанные с монтажом основного электрооборудования выбранным методом по техническим условиям; сформулировать основные правила выполнения монтажа; раскрыть вопросы техники безопасности; произвести выбор элементов монтажа, выбор сечения и типа проводов одного-двух наиболее мощных потребителей; выбор сечений и типов проводов остальных потребителей отражается в таблице соединений;

– раскрыть вопросы монтажа электрооборудования узлов, элементов схемы, которые самостоятельно разработаны и которые существенно отличаются от узлов схемы базовой модели;

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

– результаты выбора элементов монтажа, сечений и типов проводов отражаются в схеме соединений, сборочном чертеже расположения электрооборудования на установке (в таблице соединений, в спецификации).

5.7 Рекомендации по составлению раздела «Заключение»

Отмечаются новые технические задачи, которые решаются при разработке системы автоматизированного электропривода типового производственного или транспортного механизма. Дается инженерная оценка спроектированной системы электропривода. Приводятся выводы об основных характеристиках системы: точности её работы, эффективности, надёжности, экономичности. Указываются возможные пути дальнейшего совершенствования системы.

6 Варианты заданий на курсовое проектирование

Мостовые краны являются классическими объектами для курсового учебного проектирования, так как включают различные механизмы (подъёма, передвижения тележки, передвижения моста). Данный проект – самостоятельная разработка студентами электрооборудования крановых механизмов. Проектирование должно быть основано прежде всего на максимальном использовании существующих конструкций электрических аппаратов и унифицированных узлов грузоподъёмных машин, а также типовых современных автоматизированных электроприводов отдельных механизмов крана.

Варианты заданий на курсовой проект даны в таблице В.1.

7 Методические рекомендации проектирования электрооборудования мостовых кранов

7.1 Расчёт и выбор узлов механизма подъёма

Кинематическая схема механизма подъёма приведена на рисунке 7.1.

Механизм подъёма с крюковой подвеской состоит из двигателя *1*, соединённого с редуктором *4* и барабаном *5* при помощи муфт *2*, *3*; полумуфта *3* со стороны редуктора выполнена с тормозным шкивом, на котором установлен колодочный тормоз. Редукторы могут выполняться с валами по обе стороны для различной компоновки механизмов подъёма. На барабан наматывается канат полиспаста *6* с грузозахватным приспособлением *7*.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

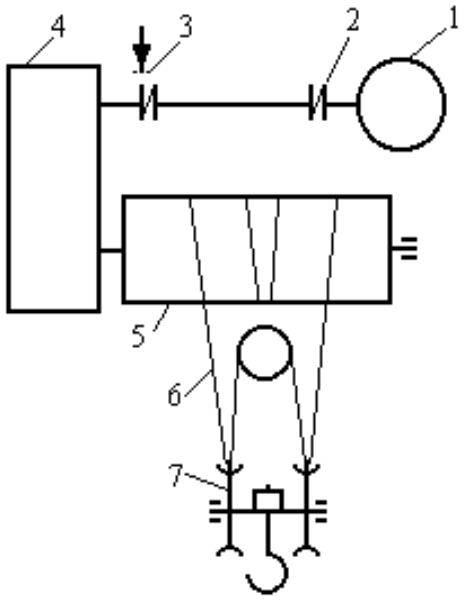


Рисунок 7.1 – Кинематическая схема механизма подъёма

На основании заданной грузоподъёмности и типа крана выбирается конструктивное исполнение полиспаста. Полиспаст представляет собой систему подвижных и неподвижных блоков, огибаемых канатом, и служит для выигрыша в силе. Крановые полиспасты изготавливаются как простые, так и сдвоенные. В мостовых кранах применяются только сдвоенные полиспасты (рисунок 7.2)

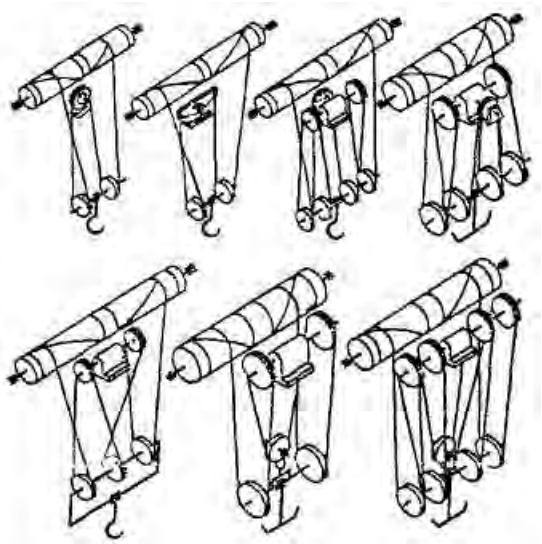


Рисунок 7.2 – Схемы полиспастов

Поскольку полиспаст имеет несколько ветвей каната, то вес поднимаемого груза распределяется равномерно между ветвями. При этом уменьшаются натяжение каната и его диаметр. Диаметры барабанов и блоков также становятся меньше, а конструкция механизма подъёма проще.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Полиспаст характеризуется кратностью $i_п$:

$$i_п = \frac{v_б}{v_г} = \frac{n_к}{n_{кб}}, \qquad (7.1)$$

где $v_б$ – окружная скорость барабана, м/с;

$v_г$ – скорость подъёма груза, м/с;

$n_к$ – число ветвей каната;

$n_{кб}$ – число ветвей каната, спускающихся с барабана, для сдвоенных полиспастов $n_{кб} = 2$.

Рекомендовано следующее число несущих ветвей каната в соответствии с таблицей 7.1.

Таблица 7.1 – Число несущих ветвей каната

Параметры	Величина параметра				
Грузоподъёмность, т	20…30	40…50	75…125	…	250…300
Число несущих ветвей каната	3…4	4…5	5…6	…	12…13

Грузы массой свыше 100 т подвешивают на ветвях со средним натяжением 150 кН, в отдельных случаях – до 250 кН. КПД полиспаста определяется по формуле [6]

$$\eta_п = \frac{(1-\eta^{i_п})}{i_п \cdot (1-\eta)} \cdot \eta^a, \qquad (7.2)$$

где $\eta_п$ – КПД блока. Если в блоках применены подшипники качения, то $\eta = 0{,}97$ при плохой смазке, высокой температуре; $\eta = 0{,}98$ при нормальных условиях;

a – количество неподвижных направляющих блоков.

Если $a = 0$, то формула (7.2) упрощается. Тогда имеем

$$\eta_п = \frac{(1-\eta^{i_п})}{i_п \cdot (1-\eta)}. \qquad (7.3)$$

С учётом различных КПД блоков подвижных и неподвижных при отсутствии направляющих блоков ($a = 0$) можно записать для полиспастов с нечётной кратностью

$$\eta_{пнк} = 1 - 0{,}75\,\varepsilon \cdot (i_п - 1); \qquad (7.4)$$

с чётной кратностью

$$\eta_{пчк} = 1 - 0{,}75\,\varepsilon_{нб} \cdot (i_п - 1), \qquad (7.5)$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

где $\varepsilon_{нб}$ – коэффициент потерь неподвижного блока.

Если принять, что используем блоки на подшипниках качения, то при нормальных условиях $\eta = 0{,}98$, тогда коэффициент потерь $\varepsilon_{нб} = 1 - 0{,}98 = 0{,}02$.

Для обеспечения натяжения каната без груза масса крюковой подвески в зависимости от кратности полиспаста должна быть не менее 2…5 % её грузоподъёмности [7].

Расчёт канатов механизма подъёма производится с целью выбора его по ГОСТу с учётом равномерного усилия, которое определяется в следующем порядке:

1) находится максимальное усилие, приходящееся на одну ветвь каната:

$$F_к = \frac{(G_{ном} + G_0)}{a_п \cdot i_п \cdot \eta_п} \cdot g, \qquad (7.6)$$

где $G_{ном}$ – расчётная грузоподъёмность, дана в задании, т;

G_0 – масса подвески с крюком, т;

$a_п$ – количество полиспастов;

g – ускорение свободного падения;

2) определяется расчётное разрывное усилие

$$F_р \geq к_з \cdot F_К, \qquad (7.7)$$

где $к_з$ – коэффициент запаса прочности (таблица 7.2);

3) выбирается канат по ГОСТ 2680–80, 3069–80, 3077–80, 3079–80, 7665–80 [6] на основании условия $F_Р < F$.

Диаметр барабана механизма подъёма, измеряемый по центру каната, определяется по формуле

$$D_б \geq \tau \cdot d_к, \qquad (7.8)$$

где $D_б$ – диаметр барабана, мм;

$d_к$ – диаметр каната, мм;

τ – коэффициент, зависящий от режима работы механизма. Согласно [7] приведен в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Коэффициент запаса прочности стальных канатов

Назначение канатов	Режим работы	$к_з$	τ
Канаты лебёдок мостовых кранов	Лёгкий	5	20
	Средний	5,5	25
	Тяжёлый	6	30
	Весьма тяжёлый	6	35

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Скорость каната, навиваемого на барабан, м/мин,

$$v_к = i_п \cdot v_г. \tag{7.9}$$

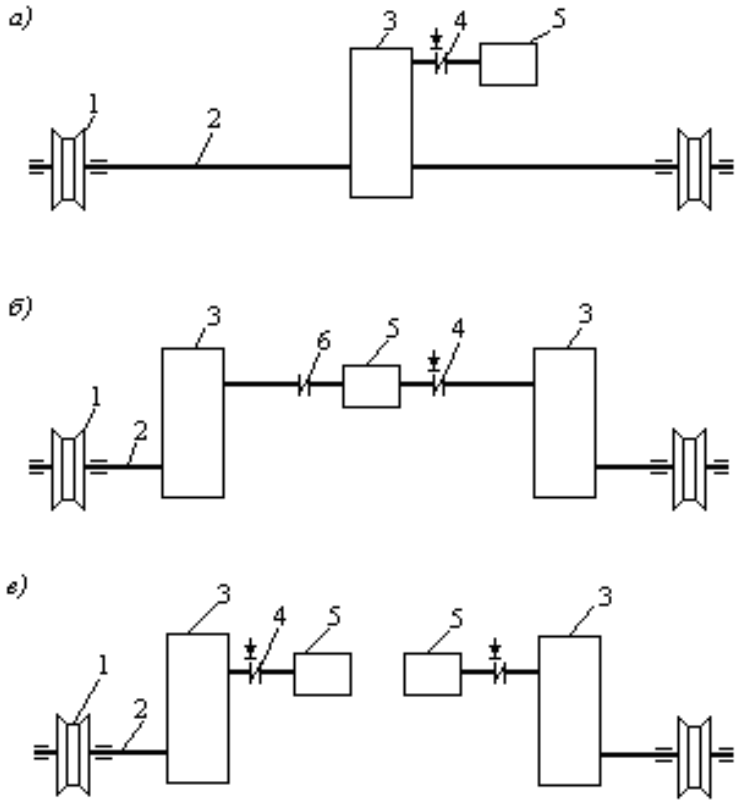
Число оборотов барабана в минуту

$$n_б = \frac{v_к}{\pi \cdot D_б}. \tag{7.10}$$

Расчёт моментов статической нагрузки механизма подъёма, расчёт мощности двигателя, выбор двигателя, проверка двигателя по нагреву и перегрузке производятся согласно [1, 13].

7.2 Расчёт механизма передвижения тележки

Выбор кинематической схемы механизма передвижения тележки выполняется согласно рисунку 7.3.



1 – ходовое колесо; *2* – вал; *3* – редуктор; *4* – тормоз; *5* – электродвигатель; *6* – муфта

Рисунок 7.3 – Кинематические схемы механизмов передвижения

Размеры ходовых колёс определяют несущую способность и наибольшую нагрузку, которые они могут передать на рельсы. Поэтому установка тележек на четыре ходовых колеса возможна только для кранов малой

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

грузоподъёмности до 50 т. Для кранов грузоподъёмностью свыше 50 т тележки кранов имеют восемь ходовых колёс, а при значительной грузоподъёмности (свыше 200 т) – 16 колёс.

Выбор ходового колеса осуществляется по максимальной нагрузке на одно ходовое колесо:

$$F_{х.к.макс.} = \frac{(G_{ном} + m_т) \cdot g}{n_{х.к.}}, \qquad (7.11)$$

где $G_{ном}$ – масса груза;

$m_т$ – масса тележки с крюковой подвеской;

$n_{х.к.}$ – число ходовых колёс.

По ГОСТ 28648–90 для заданных скоростей передвижения, режима работы и найденной по формуле (7.11) нагрузке выбираются размеры колеса тележки.

При расчёте механизма передвижения тележки сопротивление передвижению определяется как сумма сопротивления трения, сопротивления от уклона подтележечного пути и сопротивления от ветровой нагрузки. Сопротивление трения зависит от нагрузки на колеса, создаваемой весом тележки с грузом, от трения ходовых колёс и трения в их подшипниках, от диаметра цапф валов и от типа и диаметра ходовых колёс.

Полное статическое сопротивление передвижению тележки от статических нагрузок

$$F_т = F_{тр} + F_{укл} + F_в, \qquad (7.12)$$

где $F_{тр}$ – сопротивление от сил трения, Н;

$F_{укл}$ – сопротивление от уклона пути, Н;

$F_в$ – сопротивление от ветровой нагрузки, Н. Равно 0, так как кран работает в помещении.

$$F_{тр} = к_р \cdot (G_{ном} + m_т) \cdot g \cdot \frac{f \cdot d_ц + 2\mu}{D_{х.к.}}, \qquad (7.13)$$

где f – коэффициент трения в подшипниках качения; для шариковых и роликовых подшипников $f = 0{,}015$;

$к_р$ – коэффициент, учитывающий трение реборд колёс о рельсы, $к_р = 2{,}5$;

μ – коэффициент трения стального колеса по рельсу; зависит от диаметра ходового колеса; выбирается по таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Коэффициенты трения

Параметры	Величина параметра						
Диаметр $D_{х.к.}$, мм	200	320	400	560	630	710	800
Плоский рельс	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
Выпуклый рельс	0,04	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,1

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Сопротивление от уклона пути

$$F_{укл} = (G_{ном} + m_т) \cdot g \cdot \sin \psi, \qquad (7.14)$$

где ψ – угол уклона пути, ψ = 0,002 [6].

Расчёт моментов статической нагрузки механизма передвижения тележки, расчёт мощности двигателя, выбор двигателя, проверка двигателя по нагреву и перегрузке производятся согласно [1, 13].

7.3 Расчёт механизма передвижения моста

Для механизма передвижения моста при пролётах крана более 15 м применяется раздельный привод. В раздельном приводе для каждого приводного колеса или группы приводных колёс имеется индивидуальный привод (см. рисунок 7.3).

Краны малой грузоподъёмности до 50 т устанавливаются на четыре ходовых колеса, для кранов грузоподъёмностью 75…125 т мост имеет восемь ходовых колёс, а при грузоподъёмности 150 т и более – 16 ходовых колёс. Для обеспечения равномерного распределения нагрузки между колёсами следует устанавливать уравновешивающие балансиры.

При работе с раздельным приводом опоры моста крана нагружаются неравномерно. Для выбора двигателя необходимо найти реакцию максимально нагруженной опоры А, принять балансирную схему в зависимости от грузоподъёмности, определить максимальную нагрузку на одно колесо и подобрать для заданных параметров механизма крановое колесо, далее определить сопротивление передвижению наиболее нагруженной опоры и найти мощность двигателя.

При смещении крановой тележки к опоре А максимально возможная сила реакции определяется по формуле

$$R_a = \frac{0{,}5 \cdot F_{кр} \cdot l_к + (F_т + F_{гр}) \cdot (l_к - l_1) + m_к \cdot g \cdot l_{каб}}{l_к}, \qquad (7.15)$$

где $F_{кр}$ – сила тяжести крана, $F_{кр} = m_{кр} \cdot g$;

$F_т$ – сила тяжести тележки, $F_т = m_т \cdot g$;

$F_{гр}$ – сила тяжести груза, $F_{гр} = G_{ном} \cdot g$;

$m_к$ – масса кабины крана;

l_1 – расстояние, равное половине длины базы тележки;

$l_к$ – пролёт моста.

При расчётах массой кабины пренебрегают.

Максимальная нагрузка на одно ходовое колесо

$$R'_a = \frac{R_a}{n_{х.к.}}, \qquad (7.16)$$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

где $n_{х.к.}$ – количество ходовых колёс.

Для заданных параметров механизма передвижения выбирают крановое колесо.

Сила сопротивления на опоре А

$$F_{акр} = R_a \quad (f_{тяг} \cdot \kappa_p + \psi_к), \qquad (7.17)$$

где $f_{тяг}$ – коэффициент тяги;

κ_p = 1,5 [10];

$\psi_к$ – уклон подкранового пути, $\psi_к$ = 0,001 [10].

Расчёт моментов статической нагрузки моста, расчёт мощности двигателя, выбор двигателя, проверка двигателя по нагреву и перегрузке производятся согласно [1, 13].

7.4 Выбор контроллеров, аппаратуры управления и защиты

В системах релейно-контакторного типа для управления крановыми двигателями применяются силовые и магнитные контроллеры, выбор которых зависит от мощности привода и режима работы механизма.

Силовые кулачковые контроллеры предназначены для управления электродвигателями как постоянного, так и переменного токов, относятся к категории аппаратов непосредственного ручного управления [10, 11].

В курсовом проекте при проектировании электрооборудования крановых механизмов следует использовать магнитные контроллеры для управления крановыми двигателями.

Магнитные контроллеры применяются при средней и большой производительности кранов, работающих в напряженном режиме (Т и ВТ), при частоте включений более 600 включений в час, при необходимости дистанционного управления механизмами. Они представляют собой сложные комплектные коммутационные устройства для управления крановыми электроприводами. В магнитных контроллерах коммутация силовых цепей осуществляется с помощью контакторов. Для управления магнитными контроллерами применяются командоконтроллеры.

Магнитные контроллеры выбирают по роду тока, напряжению, мощности и назначению механизма. Технические данные приведены в [10].

Крановые защитные панели предназначены для максимальной токовой защиты, нулевой защиты и блокировок. Защитные панели не применяют для тех типов магнитных контроллеров, которые имеют собственные защиты.

7.5 Расчёт и выбор пускорегулирующих сопротивлений и построение механических характеристик

В крановых электроприводах постоянного тока с параметрическим регулированием в основном применяются двигатели последовательного возбуждения, а в приводах переменного тока – двигатели с фазным ротором.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

В случае электроприводов постоянного тока с двигателями последовательного возбуждения определение сопротивлений пусковых ступеней или определение сопротивлений, обеспечивающих получение требуемой характеристики, осуществляется при помощи универсальных характеристик, имеющихся в справочной литературе, например, в [10].

При расчёте пусковых сопротивлений с использованием семейства универсальных характеристик строят необходимую диаграмму пуска двигателя исходя из относительных значений максимального момента переключений, числа ступеней пуска и момента статической нагрузки.

Число ступеней пускового сопротивления определяется конструкцией и схемой выбранного серийного силового или магнитного контроллера.

Расчёт и построение естественной и искусственных механических характеристик двигателей выполняются для всех режимов работы механизма по универсальным механическим характеристикам для выбранного магнитного контроллера. На механических характеристиках отмечается область работы электропривода в пределах изменения нагрузки механизма. Методика расчёта приводится в [10, 12].

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Список литературы

1 **Ключев, В. И.** Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов / В. И. Ключев, В. М. Терехов. – Москва: Энергия, 1980. – 360 с.

2 **Капунцов, Ю. Д.** Электрический привод промышленных и бытовых установок: учебное пособие для вузов / Ю. Д. Капунцов. – 3-е изд., стер. – Москва: МЭИ, 2011. – 224 с.

3 **Дубровский, А. Х.** Устройство электрической части систем автоматизации / А. Х. Дубровский. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 217 с.

4 **Шёнфельд, Р.** Автоматизированные электроприводы / Р. Шёнфельд, Э. Хабигер. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 464 с.

5 **Чунихин, А. А.** Электрические аппараты. Общий курс : учебник для вузов / А. А. Чунихин. – Москва: Альянс, 2013. – 719 с.

6 **Кузьмин, А. В.** Справочник по расчётам механизмов подъёмно-транспортных машин / А. В. Кузьмин, Ф. Л. Марон. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 350 с.

7 **Шабашов, А. П.** Мостовые краны общего назначения / А. П. Шабашов, А. Г. Лысяков. – Москва: Машиностроение, 1980. – 304 с.

8 **Иваченко, Ф. К.** Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин / Ф. К. Иваченко. – Киев: Вища школа, 1983. – 351 с.

9 **Савицкий, В. П.** Грузоподъёмные машины / В. П. Савицкий. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – 160 с.

10 **Яуре, А. Г.** Крановый электропривод: справочник / А. Г. Яуре, Е. М. Певзнер. – Москва: Электроатомиздат, 1988. – 344 с.

11 Электрооборудование кранов / А. П. Богословский [и др.]. – Москва: Машиностроение, 1983. – 310 с.

12 **Фираго, Б. И**. Расчёты по электроприводу производственных машин и механизмов: учебное пособие для вузов / Б. И. Фираго. – Минск: Техноперспектива, 2012. – 639 с.

13 Автоматизированный электропривод типовых производственных и транспортных механизмов: метод. указания / Сост. Л. В. Жесткова. – Могилёв: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – Ч. 2. – 37 с.

14 Практическое руководство к курсовому проектированию по дисциплине «Автоматизированный электропривод типовых производственных и транспортных механизмов»: метод. указания / Сост. Д. А. Хабибулин, Л. В. Веппер. – Гомель: ГПИ, 1997. – 62 с.

15 **Певзнер, Е. М.** Эксплуатация крановых тиристорных электроприводов / Е. М. Певзнер, А. Г. Яуре. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 104 с.

16 **Белов, М. П.** Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – Москва: Академия, 2004. – 576 с.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Приложение А
(справочное)

Перечень вопросов, подлежащих разработке

Введение.

1 Техническая часть.

1.1 Техническая характеристика типового производственного или транспортного механизма.

1.1.1 Технологическое назначение.

1.1.2 Описание устройства, принципа работы механизма и кинематической схемы.

1.1.3 Основные технические параметры механизма.

1.1.4 Условия эксплуатации электрооборудования.

1.1.5 Технические требования к электроприводу и схеме управления.

1.1.5.1 Технические требования к электроприводу.

1.1.5.2 Технические требования к схеме управления.

1.2 Разработка схемы электрической принципиальной силовой части электрооборудования.

1.2.1 Выбор и обоснование системы электропривода механизма.

1.2.2 Расчёт мощности и выбор приводного электродвигателя.

1.2.3 Выбор преобразователя.

1.2.4 Обоснование и выбор структуры системы регулирования.

1.2.5 Расчёт параметров элементов системы регулирования.

1.3 Разработка схемы электрической принципиальной системы управления.

1.3.1 Выбор и обоснование элементной базы системы управления.

1.3.2 Выбор рода тока, величины напряжений цепей управления.

1.3.3 Разработка алгоритма работы схемы управления.

1.3.4 Описание работы схемы электрической принципиальной.

1.3.5 Расчёт и выбор электроаппаратуры.

1.4 Разработка монтажа электрооборудования.

1.4.1 Монтаж основного оборудования.

1.4.2 Выбор элементов монтажа.

1.4.3 Расчёт и выбор проводов.

Заключение.

Список литературы.

Проектная документация: спецификация, перечень элементов, таблица соединений.

Графическая часть: сборочный чертёж размещения электрооборудования на установке, схема электрическая принципиальная, схема электрическая соединений электрооборудования на установке.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Приложение Б
(справочное)

Примеры титульных листов

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине
«Автоматизированный электропривод типовых производственных
и транспортных механизмов»

Студент Иванов И. И.
Группа АЭП-151

Могилёв 2019

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и АПУ»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
XXXX.00.00.000 ПЗ

Студент гр. АЭП-151 (подпись)
Иванов И. И.
Руководитель проекта
ст. преподаватель (подпись)
Петров П. П.

Могилёв 2019

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Приложение В
(справочное)

Таблица В.1 – Задания на курсовой проект

Номер вари-анта	Грузо-подъём-ность, т	Длина подкра-нового пути, м	Пролёт крана, м	Высота подъёма, м	Скорость, м/мин			Масса, т		Продолжительность включения, % электродвигателя			Режим работы	Цех
					подъёма	передвижения		тележки	крана	подъёма	тележки	крана		
						тележки	моста							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	1	14	15
1	20	23	10	16	10	40	130	9	40	28	24	23	С	Склад
2	20	25	16	12	10	40	130	9,5	42	29	23	22	С	
3	25	25	10	18	12	40	130	12	60	29	27	24	С	
4	20	30	10	18	12	45	135	9,3	41	29	27	26	С	
5	25	30	16	16	15	45	135	11	50	27	23	24	С	
6	32	40	16	16	15	45	135	12,5	65	27	23	26	С	
7	40	60	16	12	12,5	50	130	18,5	75	28	24	22	С	
8	45	65	22	14	20	50	130	20	80	27	26	28	С	
9	50	65	22	14	20	50	130	22	86	23	26	28	С	
10	50	70	10	12	10	40	130	19	86	32	33	30	Т	Меха-ничес-кий
11	55	75	16	14	12	45	120	22	88	30	35	37	Т	
12	60	65	22	16	15	50	135	27	90	55	51	63	ВТ	
13	63	80	16	20	10	40	120	30	89	24	22	22	С	Ре-монт-ный
14	70	90	22	18	10	45	120	33	85	27	24	23	С	
15	75	90	28	18	12	50	130	35	88	49	53	59	ВТ	
16	80	100	28	20	12	60	130	35	95	27	26	23	С	
17	100	105	34	20	15	40	135	38	120	26	24	26	С	

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/

Окончание таблицы В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
18	100	95	22	19	10	40	120	40	140	35	32	37	Т	Сбо-роч-ный
19	110	100	28	18	10	45	130	39	150	28	22	20	С	
20	120	105	34	18	12	45	130	55	170	27	23	21	С	
21	125	110	34	16	12	42	132	55	180	30	31	39	Т	
22	20	50	7,5	12	10	40	120	9,3	41	28	24	23	С	Литей-ный
23	25	55	7,5	12	10	40	120	11	50	29	23	22	С	
24	32	90	10	13	10	40	125	12,5	65	29	27	24	С	
25	40	60	10	12	12	40	125	15	75	29	27	26	С	
26	50	70	16	12	12	40	130	18	86	27	23	24	С	
27	60	75	16	14	12	40	130	20	88	37	33	36	Т	
28	65	80	22	12	15	40	120	25	88	38	34	32	Т	
29	80	70	28	12	15	40	125	30	89	37	36	38	Т	
30	100	80	28	14	15	40	130	33	110	33	36	38	Т	