

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

_____ Е.И.Луковникова

« _____ » декабря 2018 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ТИПОВОЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Б1.В.02

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

13.03.02 Энергоэнергетика и электротехника

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ
Электроснабжение**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ		Стр.
1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ		3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ		4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ		4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....		4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости		4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ		5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий		5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам		10
4.3 Лабораторные работы.....		76
4.4 Семинары / практические занятия		76
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....		76
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ		77
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ		78
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....		78
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ		79
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....		79
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ .		80
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ		96
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ		96
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....		97
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины		106
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе		107

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к относящихся к научно-исследовательскому и производственно-технологическому видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся знаний об основных функциях, выполняемых системами управления электроприводов, знакомство с комплексом требований, определяющих выбор системы электропривода для типовых производственных механизмов, и примерами их технической реализации в различных областях промышленности.

Задачи дисциплины

Приобретение студентами навыков и умений самостоятельного выбора приводных двигателей для различных производственных машин и механизмов, выбора системы автоматизированного электропривода и расчета характеристик электропривода с учетом энергетических показателей.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-математические основы определения статических и динамических нагрузок типовых машин и механизмов <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять методы анализа и моделирования для выбора приводных двигателей типовых производственных механизмов с учетом комплекса требований к ним <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками теоретического и экспериментального исследования при анализе режимов работы электропривода типовых производственных механизмов
ПК-7	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - классификацию типовых производственных механизмов, методы расчета и выбора основного электрооборудования, типовые технические решения и примеры схем электроприводов. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать, проектировать, настраивать и эксплуатировать системы электроприводов промышленных установок в различных отраслях промышленности <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками анализа схем управления электроприводами промышленных установок

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.02 Типовой электропривод является дисциплиной вариативной части.

Дисциплина Типовой электропривод базируется на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин, как Основы электропривода, Теоретическая механика, Прикладная механика, Электроника, Электрические машины, Электрические и электронные аппараты, Электроснабжение, Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Типовой электропривод представляет основу для изучения дисциплины Б1.В.11 Эксплуатация систем электроснабжения.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоёмкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары / Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	7	144	68	34	34	-	31	-	Экзамен
Заочная	5	-	144	22	12	10	-	113	-	Экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	3	-	144	18	12	6	-	117	-	Экзамен

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоёмкости

Вид учебных занятий	Трудоёмкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			7
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	68	6*	68
Лекции (Лк)	34	4*	34
Лабораторные работы (ЛР)	34	2*	34
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	31	-	31

Подготовка к лабораторным работам	17	-	25
Подготовка к экзамену в течение семестра	14	-	6
III. Промежуточная аттестация экзамен	45	-	45
Общая трудоемкость дисциплины, час. зач. ед.	144	-	144
	4	-	4

* – заочная (ускоренное обучение)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	Лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Классификация типовых производственных механизмов	19	9	-	10
1.1.	Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.	4	2	-	2
1.2.	Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.	4	2	-	2
1.3.	Расчет реактивных статических нагрузок	4	2	-	2
1.4.	Расчет активных статических нагрузок	4	2	-	2
1.5.	Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения	3	1	-	2
2.	Электроприводы механизмов непрерывного действия	58	13	34	11
2.1.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	4	2	-	2
2.2.	Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	4	2	-	2
2.3.	Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	4	2	-	2
2.4.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов	21	2	17	2

	непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.				
2.5.	Основные требования, предъявляемые к электроприводам механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	20	2	17	1
2.6.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	3	2	-	1
2.7.	Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	2	1	-	1
3.	Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов	22	12	-	10
3.1.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет и анализ нагрузок механизмов этой группы.	4	2	-	2
3.2.	Расчет и анализ нагрузок механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	4	2	-	2
3.3.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Анализ и расчет статических нагрузок.	4	2	-	2
3.4.	Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой.	4	2	-	2
3.5.	Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Основные принципы, особенности.	3	2	-	1
3.6.	Выбор типа системы электропривода при позиционировании.	3	2	-	1
	ИТОГО	99	34	34	31

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	Лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Классификация типовых производственных механизмов	37	4	-	33

1.1.	Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.	11	2	-	9
1.2.	Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.	8	2	-	6
1.3.	Расчет реактивных статических нагрузок	6	-	-	6
1.4.	Расчет активных статических нагрузок	6	-	-	6
1.5.	Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения	6	-	-	6
2.	Электроприводы механизмов непрерывного действия	60	6	10	44
2.1.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	10	2	-	8
2.2.	Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	8	2	-	6
2.3.	Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	6	-	-	6
2.4.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	12	1	5	6
2.5.	Основные требования, предъявляемые к электроприводам механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	12	1	5	6
2.6.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	6	-	-	6
2.7.	Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	6	-	-	6
3.	Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов	38	2	-	36
3.1.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет и анализ нагрузок механизмов этой группы.	8	2	-	6
3.2.	Расчет и анализ нагрузок механизмов	6	-	-	6

	циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.				
3.3.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Анализ и расчет статических нагрузок.	6	-	-	6
3.4.	Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой.	6	-	-	6
3.5.	Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Основные принципы, особенности.	6	-	-	6
3.6.	Выбор типа системы электропривода при позиционировании.	6	-	-	6
	ИТОГО	135	12	10	113

- для заочной (ускоренной) формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	Лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
1.	Классификация типовых производственных механизмов и расчет механических нагрузок	41	4	-	37
1.1.	Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.	11	2	-	9
1.2.	Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.	10	2	-	8
1.3.	Расчет реактивных статических нагрузок	8	-	-	8
1.4.	Расчет активных статических нагрузок	6	-	-	6
1.5.	Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения	6	-	-	6
2.	Электроприводы механизмов непрерывного действия	56	6	6	44
2.1.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	10	2	-	8
2.2.	Анализ типовых схемных решений	8	2	-	6

	электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.				
2.3.	Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	6	-	-	6
2.4.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	10	1	3	6
2.5.	Основные требования, предъявляемые к электроприводам механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	10	1	3	6
2.6.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	6	-	-	6
2.7.	Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	6	-	-	6
3.	Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов	38	2	-	36
3.1.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет и анализ нагрузок механизмов этой группы.	8	2	-	6
3.2.	Расчет и анализ нагрузок механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	6	-	-	6
3.3.	Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Анализ и расчет статических нагрузок.	6	-	-	6
3.4.	Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой.	6	-	-	6
3.5.	Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Основные принципы, особенности.	6	-	-	6
3.6.	Выбор типа системы электропривода при позиционировании.	6	-	-	6
	ИТОГО	135	12	6	117

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

РАЗДЕЛ 1:

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ И РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

1.1. Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа (2 часа).

Несмотря на многообразие частных разновидностей машин и механизмов из них можно выделить ограниченное число механизмов, выполняющих в различных конкретных установках одинаковые функции и работающих в одном и том же режиме, к электроприводу которых предъявляются однотипные главные требования.

Различные по конструкции и специализации установки циклического действия, как было установлено, тесно связаны общностью основного назначения: все они предназначены для пространственного перемещения своего рабочего органа с целью выполнения подъемно-транспортных и заданных специальных технологических операций. Особенности конструкций машин определяются сложностью траекторий движения рабочего органа, требуемых для выполнения предусмотренных технологических операций. Они проявляются в первую очередь в числе степеней свободы машины, необходимых для осуществления предусмотренного манипулирования ее рабочим органом. Если по условиям технологии достаточно перемещать рабочий орган по одной пространственной координате, применяются стационарные машины, основным механизмом которых является подъемная или тяговая лебедка.

При необходимости пространственных перемещений схвата по трем координатам требуются три механизма. Так, крюковой или магнитный кран обслуживается подъемной лебедкой, механизмом передвижения тележки и механизмом передвижения моста. Поворотный кран или одноковшовый экскаватор обычно имеют четыре степени свободы и снабжаются соответственно четырьмя механизмами: подъема, изменения вылета (напора, тяги), поворота и передвижения всей машины. Когда требуется управлять грузозахватывающим устройством, предусматривается дополнительный механизм — лебедка закрывания грейфера, механизм открывания днища ковша и т. п. Наконец, наиболее широкими возможностями перемещения схвата по сложным пространственным траекториям и его ориентации обладают универсальные промышленные роботы. Их манипуляторы имеют наибольшее число степеней свободы и соответствующее число механизмов перемещения и поворота элементов пространственной многозвенной механической системы по этим координатам.

Таким образом, можно заключить, что несмотря на существенные конструктивные особенности различных установок циклического действия их рабочие движения обслуживаются ограниченным числом механизмов, однотипных по принципу действия, основному назначению и выполняемым функциям: подъемными и тяговыми лебедками, а также различными по конструкции механизмами передвижения и поворота. Все эти механизмы являются типовыми, ибо предъявляют к электроприводу и его системе управления ряд характерных общих требований при любом конструктивном исполнении.

Рассмотрение конструктивных особенностей общепромышленных механизмов непрерывного действия показывает, что несмотря на общность режима работы и назначения (исключая компрессоры) по принципу действия их следует разделить на две группы, включив в первую разнообразные подъемно-транспортные машины непрерывного действия и отнеся ко второй насосы, вентиляторы и компрессоры. Основные особенности механизмов непрерывного транспорта достаточно полно выявляются при рассмотрении конвейеров, поэтому конвейер можно рассматривать как типовой общепромышленный механизм непрерывного действия. Вторую группу механизмов непрерывного действия в связи с существенным различием в принципе действия и характере нагрузок полезно разделить на центробежные и поршневые механизмы, также рассматривая их как типовые общепромышленные механизмы непрерывного действия.

Изложенные соображения позволяют представить классификацию изучаемых производственных механизмов в виде схемы, показанной на рис. 1-15, определяющей методику

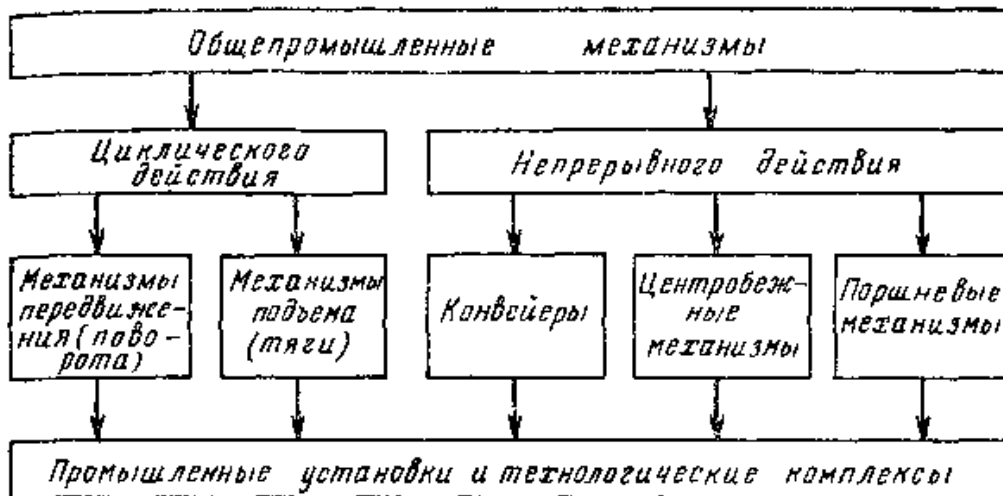


Рис. 1-15. Классификация типовых общепромышленных механизмов.

В соответствии с этой схемой курс состоит из трех частей, в каждой из которых удастся выделить общие вопросы электропривода и автоматизации типовых механизмов данной группы: механизмов циклического действия, механизмов непрерывного транспорта, а также насосов, вентиляторов и компрессоров. Изучение общих вопросов и требований к электроприводу и системам автоматизации рабочих режимов типовых общепромышленных механизмов закрепляется и дополняется анализом примеров схем электропривода основных механизмов конкретных общепромышленных установок, а также рассмотрением электрооборудования ряда технологических комплексов, обслуживаемых типовыми общепромышленными механизмами.

1.2. Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа (2 часа).

Технологические процессы разнообразны по своему содержанию и областям использования. Еще более разнообразны производственные машины и механизмы, осуществляющие различные технологические процессы. Однако можно выделить группы машин и механизмов производственного назначения, характеризующиеся общностью выполняемых операций и принципом действия.

К таким машинам относятся:

- турбомеханизмы: насосы, вентиляторы, турбокомпрессоры;
- грузоподъемные машины: краны, лифты, шахтные подъемники и другие;
- транспортные машины: конвейеры, транспортеры, эскалаторы и другие;
- металлообрабатывающие станки;
- машины возвратно-поступательного движения: поршневые насосы и компрессоры, прессы;
- экскаваторы;
- прокатные станы.

Здесь перечислены производственные машины, которые наиболее широко применяются в основных отраслях промышленности и поэтому могут быть названы типовыми производственными механизмами. Приведенный перечень далеко не полон, но он достаточен для изучения принципов проектирования и конструирования электроприводов машин различного назначения.

Классификация типовых производственных механизмов в зависимости от режима работы и характера статических и динамических нагрузок [1] дана на рис.В1. Представленная схема сгруппирована по принципу идентичности механических характеристик и общности подхода к расчету мощности приводного электродвигателя.

Основное влияние на режим работы электропривода и на требования, предъявляемые к нему, оказывает характер технологического процесса.

По характеру технологического процесса все машины и механизмы можно разделить на две большие группы: механизмы непрерывного действия и механизмы циклического действия.

В первой группе технологический процесс протекает непрерывно, во второй – рабочий процесс состоит из однотипных повторяющихся циклов.

Электроприводы механизмов непрерывного действия характеризуются редкими пусками, как правило, не требуют реверсирования и точной остановки. Электроприводы механизмов циклического действия – частыми пусками, реверсами, необходимостью регулирования скорости и точной остановки.

Из схемы (рис.В1) следует, что механизмы циклического действия подразделяют на механизмы с реактивной и активной нагрузкой. Реактивная нагрузка (силы трения) меняет свой знак при изменении знака вектора скорости, активная (сила тяжести) не изменяет свой знак при изменении знака вектора скорости. Механизмы циклического действия с реактивной нагрузкой подразделяют на механизмы с большим моментом инерции

$\frac{J_{\Sigma}}{1,2J_{дв}} > 2$ и малым - $\frac{J_{\Sigma}}{1,2J_{дв}} < 2$. Величина момента и инерции механизма влияет на подход к предварительному

выбору электродвигателя и на соотношение между величинами статической и динамической нагрузок.

Механизмы с активной нагрузкой подразделяют на механизмы с одноконцевой и двухконцевой лебедкой, что приводит к разнице расчета момента сопротивления и мощности двигателя при одной и той же полезной нагрузке.

Механизмы непрерывного действия подразделяют на механизмы с постоянной и переменной нагрузкой. В свою очередь, механизмы с постоянной нагрузкой подразделяют на механизмы с сосредоточенной нагрузкой, имеющие, как правило, жесткую связь между механизмом и двигателем, и с распределенной нагрузкой, приведенные к двухмассовой механической системе.

Механизмы с переменной нагрузкой подразделяют на механизмы, где момент сопротивления зависит от скорости, и механизмы, где момент сопротивления на валу двигателя зависит от положения рабочего органа. Эти машины имеют в своем составе кривошипно-шатунный механизм



Рис. Классификация типовых производственных механизмов

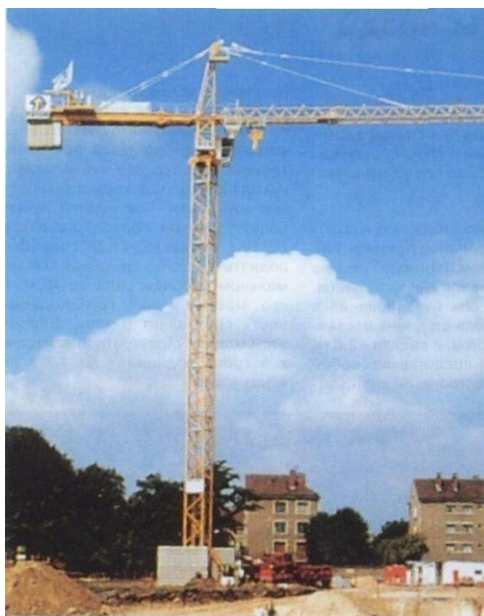
Примеры типовых производственных механизмов



Портальный кран для погрузки большегрузных контейнеров



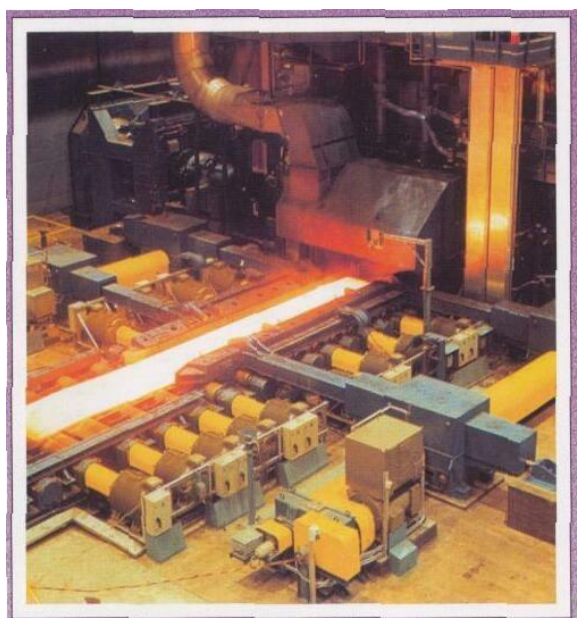
Горный экскаватор типа ЭКГ-8



Строительный кран башенного типа



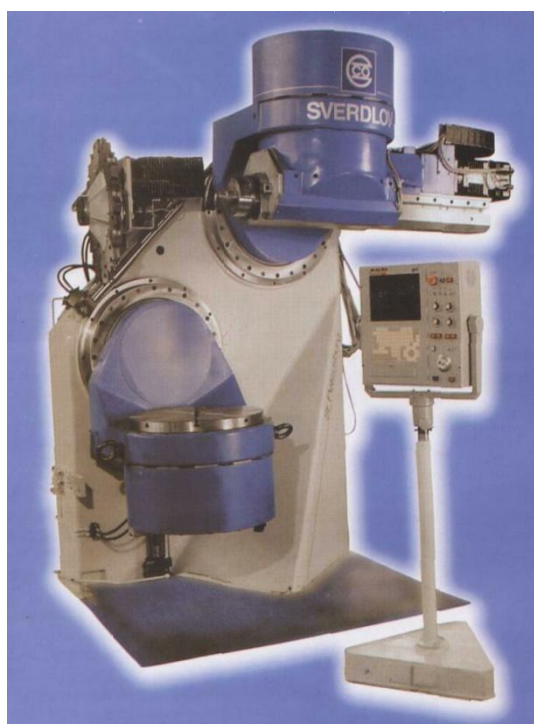
Станок-качалка для добычи нефти



Прокатный стан непрерывного действия



Бумагоделательная машина



Мехатронный обрабатывающий центр

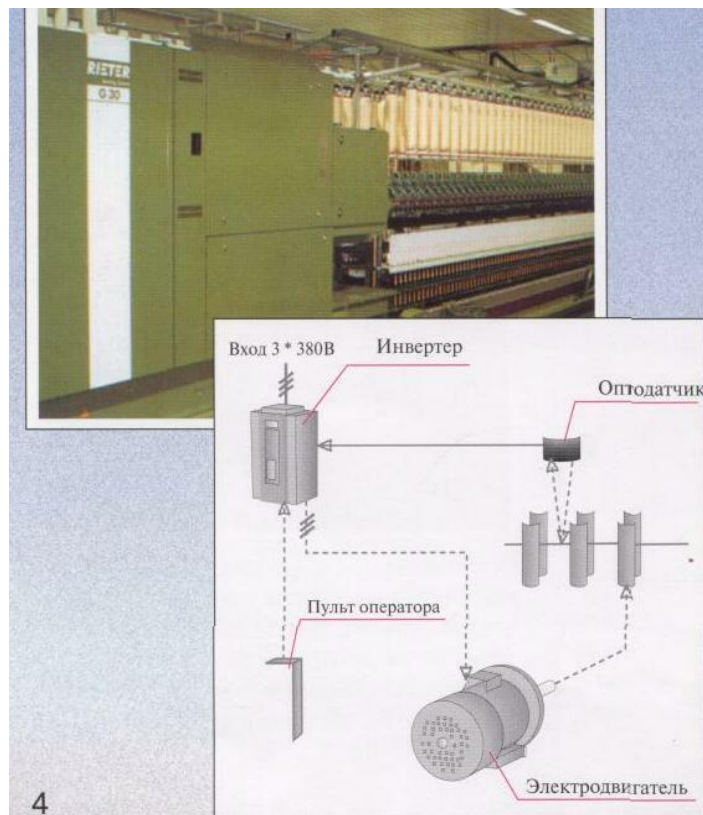


Токарный станок для обработки крупно-габаритных деталей



Расширение возможностей технологического оборудования, отказ от приводов постоянного тока.

Экструзионная машина для производства изделий из полимерных материалов



4

Многоверетная прядельная машина



Насосная установка системы водоснабжения



Электромобили

1.3. Расчет реактивных статических нагрузок

Расчет статических моментов

Статические моменты сопротивления движению возникают под действием сил трения и тяжести, а также в результате обработки материала в технологическом процессе (обработки металлов давлением, сопротивление резанию и др.).

Несмотря на то, что расчет нагрузочных моментов всегда имеет индивидуальный характер, можно выделить основные виды сил сопротивления: силы трения (механизмы передвижения экскаваторов, кранов, подачи металлорежущих станков и т.д.); силы сопротивления при обработке металла давлением (прокатка, штамповка, ковка); сил сопротивления резанию (металлорежущие станки и экскаваторы); силы тяжести (грузоподъемные и транспортные машины) и ветра (при передвижении на открытом воздухе).

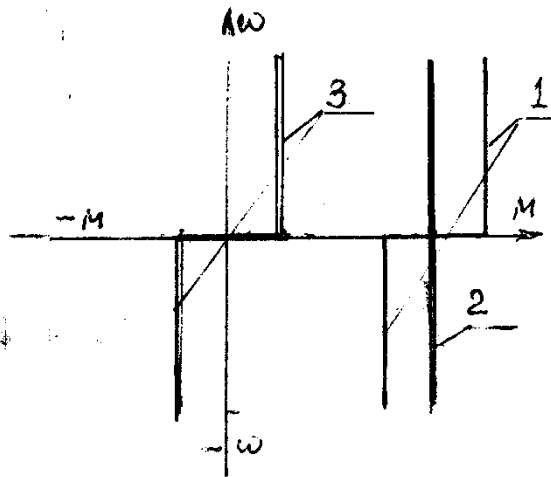


Рис.1.1. Механические характеристики механизма при совместном действии активного и реактивного моментов (1), только активного (2), только реактивного (3)

Моменты (силы) сопротивления движению механизмов подразделяют на активные и реактивные. В зависимости от характера моментов сопротивления механизмы подразделяют на механизмы с реактивным моментом сопротивления на валу (механизмы передвижения и поворота кранов и экскаваторов, конвейеры, металлорежущие станки и т.д.) и на механизмы с активной нагрузкой (механизмы подъема кранов и экскаваторов, скиповые подъемники, лифты и т.п.).

Необходимо отметить, что на валу двигателя механизмов второй группы, наряду с активным, всегда присутствует реактивный момент сопротивления, возникающий за счет трения в элементах кинематической цепи механизма и его рабочего органа. Механические характеристики при этом будут иметь вид, представленный на рис.1.1.

Динамические нагрузки определяются в зависимости от жесткости соединяющих звеньев между ротором двигателя и соединенных с ним элементов и рабочим органом.

Расчет момента сопротивления от сил трения

В зависимости от характера передвижения одной поверхности по другой (скольжение или качение) силы трения подразделяют на трение скольжения и трение качения.

Для трения скольжения

$$F_{mp} = N \cdot \mu, \quad M_{mp} = \frac{N \cdot \mu \cdot d}{2}, \quad (1.1)$$

где N - нормальное давление, Н;

μ - коэффициент трения скольжения;

d - диаметр цапфы вала, шестерни и т.п., м.

Для трения качения

$$M_{mp} = N \cdot f, \quad F_{mp} = \frac{2 \cdot N \cdot f}{D_k}, \quad (1.2)$$

где f - коэффициент трения качения, м;

D_k - диаметр колеса, ролика и т.п., м.

Практически силы трения скольжения и качения часто действуют совместно, например, при качении колеса (механизмы передвижения крана, тележки, поворота) трение в цапфе рассматривается как трение скольжения, а трение колеса по рельсу (направляющим) – как трение качения.

В этом случае сила трения определяется по формуле

$$F_{mp} = \frac{N(\mu \cdot d_u + 2f)}{D_k} \cdot K_{mp}, \quad (1.3)$$

а момент сопротивления для механизма передвижения (моста, тележки роликов конвейера и т.п.) из выражения

$$M_{mp} = N \cdot K_{mp} \left(\mu \frac{d_u}{2} + f \right). \quad (1.4)$$

Для механизма поворота

$$M_{mp} = \frac{K_{mp} (\mu \cdot d_u + 2f) \cdot D_{kp} \cdot N}{D_k}, \quad (1.5)$$

где d_u - диаметр цапфы или подшипника качения, м;

D_k, D_{kp} - диаметр колеса (ролика) и круга соответственно, м;

N - суммарная вертикальная нагрузка, Н;

μ - коэффициент трения скольжения (для подшипников скольжения $\mu=0,06, \dots, 0,09$, для подшипников качения $\mu=0,005, \dots, 0,015$);

$f=(0,4, \dots, 1,0) \cdot 10^{-3}$ м – коэффициент трения качения.

K_{mp} - коэффициент, учитывающий трение колеса о рельсы, $K_{mp}=1,5, \dots, 2,5$ в зависимости от типа колес и рельсов (направляющих).

На экскаваторах и кранах для механизмов поворота устанавливают опорно-поворотные круги (ОПК). ОПК – это шариковые или роликовые однорядные или многорядные подшипники, воспринимающие вертикальные и горизонтальные нагрузки и не требующих центрирующих и удерживающих устройств. Момент сопротивления для ОПК определяется по двум формулам в зависимости от величины опрокидывающего момента, т.е. момента стремящего опрокинуть кран.

$$M_{опр} = G_{\Sigma} l + M'_x$$

Если $M_{опр} \leq 0,25 D_{kp} G_{\Sigma}$, то считают, что нажатие на ролики равномерное и расчет производится по формуле:

$$M_{mp} = 0,5 W D_{kp} \sum_{i=1}^n N_{pc}, \quad (1.6)$$

где G_{Σ} - суммарная нагрузка на круг, Н; l – эксцентритет приложения сил, м; M'_x - момент горизонтальных сил относительно плоскости качения катков, Нм; D_{kp} – средний диаметр поворота круга по дорожке качения, м;

$\sum_{i=1}^n N = \frac{G_{\Sigma}}{\cos \gamma}$ - нормальное давление, Н; $\gamma = (45 - 60)^\circ$ - угол наклона роликов (шариков), град;

W – сопротивление движению: для шариковых кругов $W=0,01$; для роликовых - $W=0,012$.

Если $M_{опр} > 0,25 D_{kp} G_{\Sigma}$, то нажатие на часть роликов увеличивается и M_{mp} определяется по формуле:

$$M_{mp} = 0,5WD_{kp} \sum_{i=1}^n N_{pi} \left[1 + 0,5\delta_{kp} \left(\frac{4M_{onp}}{G_{\Sigma}D_{kp}} - 1 \right) \right], \quad (1.7)$$

где $\delta_{kp} = \left(3 - 3 \cdot 10^{-7} G_{\Sigma} \right)^{1/2}$.

Расчет моментов сопротивления при обработке металлов давлением

Обработка металлов давлением производится прокатными станами, кузнечно-прессовыми и другими подобными машинами.

Расчет усилия при обработке металлов давлением производится на основе теории пластичности [2]. Необходимое усилие при обработке давлением определяется из уравнения

$$F = P_y \cdot S, H,$$

где: P_y - среднее удельное давление, Н/мм², S - поверхность соприкосновения рабочего органа и металла, мм².

При прокатке $P_y = \gamma \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma_{\phi}$,

где: γ - учитывает влияние среднего нормального напряжения в очаге деформации. Когда уширением можно пренебречь, $\gamma=1,15$. При прокатке полос со свободным уширением - $\gamma=1,0$ [3];

$n_{\sigma} = n_{B1} \cdot n'_{\sigma} \cdot n''_{\sigma} \cdot n'''_{\sigma}$ - коэффициенты, учитывающие влияние на давление прокатки ширины полосы, внешнего трения, внешних зон и напряжения соответственно;

σ_{ϕ} - фактическое сопротивление линейному или простому сжатию (предел текучести в условиях прокатки).

Значение указанных коэффициентов и предел текучести приведены в [2, -3].

Полное усилие определяется по формуле

$$F = P_y \cdot B_{cp} \cdot l = P_y S,$$

где: $B_{cp} = \frac{B + B_1}{2}$ - средняя ширина прокатываемой полосы (рис.1.2); l - горизонтальная проекция дуги захвата.

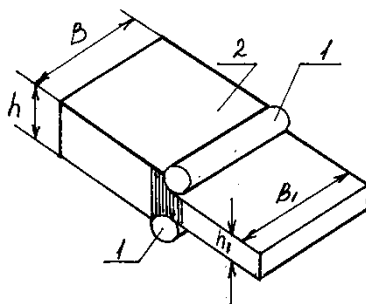


Рис.1.2. Схема прокатки

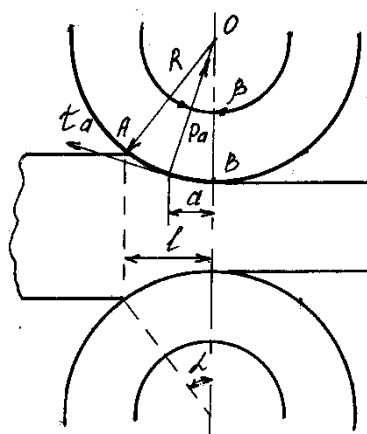


Рис.1.3. Усилия при прокатке

Реакция на усилие, приложенное от валка к прокатываемому металлу, складывается из нормального P_a и касательного τ_a усилий (рис.1.3). Направление равнодействующей реакции зависит от условий прокатки. При простом процессе прокатки равнодействующие силы будут направлены параллельно линии, соединяющей центры обоих валков.

Момент на валу двигателя, необходимый для привода валков прокатного стана, складывается из 4-х величин [3].

$$M = \frac{M_{np}}{i} + M_{mp} + M_{xx} + M_{дин}, \quad (1.8)$$

где: M_{np} - момент прокатки, требуемый для преодоления сопротивления деформации прокатываемого металла и возникающих при этом сил трения металла по поверхности валков; M_{mp} - момент добавочных сил трения, возникающий при проходе металла между валками, и в подшипниках валков, передаточном механизме и других частях стана, но без учета момента, требуемого на вращение валков стана при холостом ходе; M_{xx} - момент холостого хода; $M_{дин}$ - динамический момент; i - передаточное число редуктора.

Момент прокатки при установившемся процессе подсчитывают либо по усилиям, действующим на валки, либо по экспериментальным данным о расходе энергии при прокатке.

Первый способ дает более точные результаты при прокатке профилей прямоугольного сечения: листов, блюмов, слябов и т.п. Второй метод применяют при прокатке сортового металла непрямоугольного сечения, а также в случаях, где имеются опытные данные о расходе энергии аналогичных станов.

Определение момента прокатки по усилиям, действующим на валки

Из рис.1.4 следует, что момент прокатки для двух валков можно определить по формуле

$$M_{np} = 2 \cdot P \cdot a = 2 \cdot \Psi \cdot l \cdot P, \quad (1.9)$$

где: $a = \frac{D}{2} \sin \beta$ - плечо приложения равнодействующей P ; $\Psi = \frac{a}{l}$ - коэффициент приложения плеча равнодействующей; β - угол, характеризующий точку приложения P .

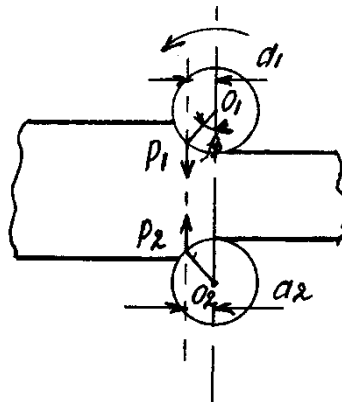


Рис.1.4. Моменты при прокатке

С учетом потерь на трение в подшипниках валков

$$M_{np} = P(D \cdot \sin \beta + d_u \cdot \mu_u) = 2 \cdot P(a + \rho), \quad (1.10)$$

где: $\rho = \frac{d_u \cdot \mu_u}{2}$ - радиус круга трения цапф валка.

На основании экспериментальных данных [3] можно принять при горячей прокатке $\Psi=0,45...0,5$, при холодной прокатке $\Psi=0,2...0,35$.

Момент трения в передаче определяется из уравнения

$$M_{mp} = \frac{M_{np} + M_{mp}}{i} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right), \quad (1.11)$$

где: i , η - передаточное число и КПД механической передачи.

Момент холостого хода определяют по формуле

$$M_{xx} = \sum \frac{G_n \cdot \mu \cdot d_u}{i}, \quad (1.12)$$

где G_n - нагрузка от массы данной детали.

Момент холостого хода M_{xx} при расчетах [4] берется равным 3...5% от номинального момента прокатного двигателя.

Определение момента прокатки по удельному расходу энергии

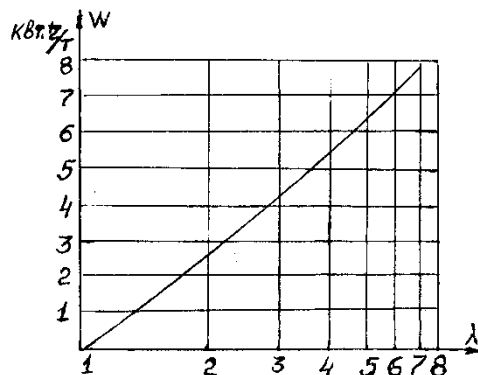


Рис.1.5. Примерная кривая удельного расхода энергии

Кривые удельного расхода энергии $\Delta W = f(\lambda)$ (рис. 1.5) в зависимости от удлинения (λ) строятся на основе экспериментальных исследований, проведенных на конкретных прокатных станах для конкретных видов заготовок.

При расчете момента прокатки важно правильно подобрать кривую удельного расхода энергии с учетом марки стали, начального сечения заготовки, а также, чтобы используемая кривая была получена на аналогичном стане.

Момент прокатки и трения в валках определяют по формуле

$$M_{np} + M_{тр} = 1,4 \cdot 10^7 \cdot \Delta W \cdot F \cdot D, \quad (1.13)$$

где: ΔW - расход энергии на тонну заготовки, кВт·ч/т; F - сечение слитка после пропуска, м²; D - диаметр валка, м.

Определение удельных усилий и моментов в кузнечно-прессовых машинах

В кузнечно-прессовых машинах определение удельных усилий при обработке металлов зависит от вида обработки (осадка, штамповка, прессование и т.д.).

Приведем определение удельного давления при штамповке и прессовании. При штамповке удельное усилие с учетом сопротивления заусенец определяется по формулам [5]:

$$\text{Для заусенец: } P_{y.d.z} = \sigma_m \left(1,5 + 0,5 \frac{d}{h_3} \right),$$

$$\text{для штамповки: } P_{y.d.sh} = \sigma_m \left(\frac{S}{h_3} - 0,375 + 1,25 L n \frac{S}{h_3} \right).$$

Полное усилие определяется по формуле:

$$F_c = P_{y.d.z} \cdot F_3 + P_{y.d.sh} \cdot F_n,$$

где: σ_m - напряжение текучести, МПа; F_3 - площадь проекции мостика заусенеца, м²; F_n - площадь проекции поковки, м²; S - ширина мостика заусенечной канавки, мм; h_3 - толщина заусенеца в конечный момент штамповки, мм; d - диаметр поковки, мм.

При прессовании удельное давление [5] можно определить по формуле:

$$P_{yo} = \sigma_m \left[\left(\frac{\mu_s}{\sin \gamma} + \frac{2}{1 + \cos \gamma} \right) \ln \frac{F}{f} + \frac{2L}{D} + \frac{4\mu_s l}{d} \right],$$

где: μ_s - коэффициент трения, 2γ - заходный угол матрицы, который можно принимать $2\gamma=120^\circ$; d, l - диаметр и длина калибрующего пояса матрицы, мм; F, f - площади поперечных сечений контейнера и очка матрицы соответственно, мм²; L - высота заготовки, осажженной по диаметру контейнера.

Приведенный статический момент в приводе с кривошипным механизмом определяется по формуле [6]:

$$M_c = \frac{F_c m_k}{i_n \cdot \eta_n}, \quad (1.14)$$

где: F_c - сила сопротивления, действующая на ползун, Н; i_n - передаточное число от вала двигателя к кривошипному валу; η_n - КПД передачи; m_k - приведенное плечо сил сопротивления.

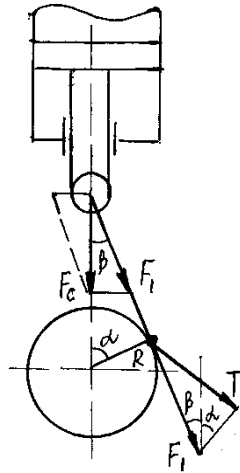


Рис.1.6. Схема кривошипно-шатунного механизма

Из рис.1.6 следует, что величина M_c зависит от положения вала.

$$M_c = F_1 \sin(\alpha + \beta)R,$$

$$F_1 = \frac{F_c}{\cos \beta},$$

тогда

$$M_c = \frac{F_c \sin(\alpha + \beta)R}{\cos \beta},$$

$$m_k = \frac{\sin(\alpha + \beta)R}{\cos \beta} = R(\sin \alpha + \frac{R}{2l} \sin 2\alpha), \quad (1.15)$$

где: R - радиус кривошипа; l - длина шатуна; α - угол поворота кривошипного вала (исходное положение обычно соответствует нижней или верхней мертвой точке положения шатуна); β - угол между шатуном и линией, проведенной через центр кривошипа и ползуна.

Момент трения в цапфах кривошипа, шатуна и коленчатого вала определяется, исходя из конструкции механизма. Например, для двухстоячных однокривошипных прессов [6]

$$M_{mp} = \frac{F_c \mu (K + 1) \bar{r}_a + K r_B + r_0}{i_n \eta},$$

где μ - коэффициент трения; r_a , r_B , r_0 - радиус кривошипной шейки шатуна, шатунной цапфы ползуна, опор кривошипного вала, соответственно, м; $K = \frac{K}{C}$ - коэффициент.

Приведенный момент инерции кривошипного механизма определяется по формуле:

$$J_{kp} = \frac{J_0}{i^2} + \frac{m_n V^2}{\omega^2}, \quad (1.16)$$

где: J_0 - момент инерции кривошипного вала; m_n - масса ползуна;

$V = \omega_{kp} R \left(\sin \alpha + \frac{R}{2l} \sin 2\alpha \right)$ - линейная скорость ползуна; ω , ω_{kp} - угловая скорость двигателя и кривошипа.

Расчеты кривошипного механизма, в виду их сложности, рекомендуется проводить на ЭВМ.

На рис.1.7 представлена структурная схема механической части электропривода с кривошипно-шатунным механизмом.

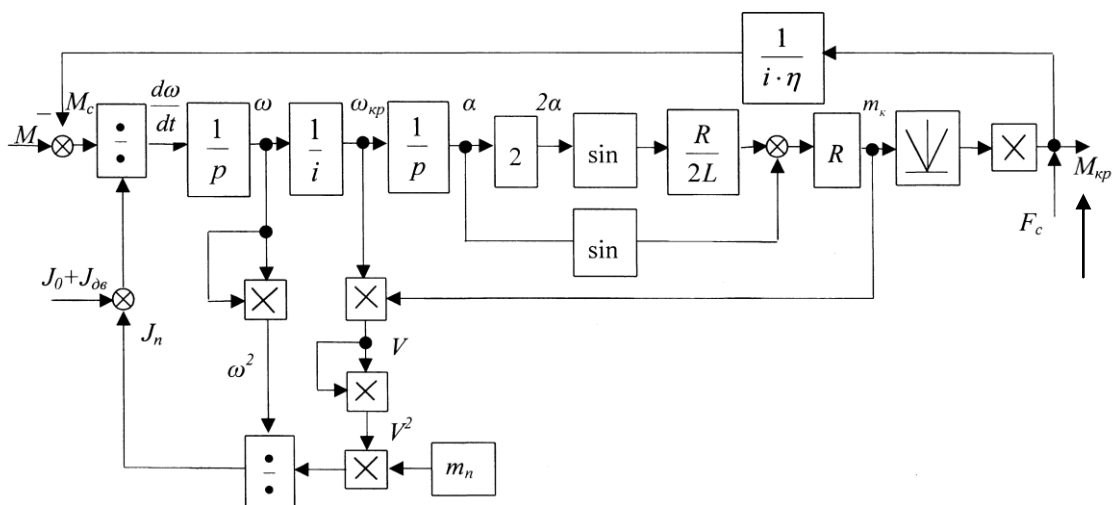


Рис.1.7. Структурная схема механической части электропривода с кривошипно-шатунным механизмом

Определение моментов сопротивления при резании

Реактивные нагрузки от сил резания возникают в металлорежущих станках, землеройных и других машинах. Ниже рассмотрено определение сил и моментов резания для металлорежущих станков и землеройных машин.

Определение сил резания при обработке конструктивных материалов

В процессе обработки металлов резанием заготовка и режущий инструмент перемещаются относительно друг друга. Одно перемещение, определяющее скорость отделения стружки, называется главным движением, второе, обеспечивающее непрерывное врезание режущей кромки инструмента в новые слои металла, называется движением подачи. При обработке на продольно-строгальных станках главным движением является перемещение стола, на токарных – вращение детали, а движением подачи - перпендикулярное к главному движению передвижение резца. В процессе обработки детали на режущую кромку резца (рис.1.8) действует усилие F , обусловленное сопротивлением металла резанию. Это усилие разлагается на три составляющие:

F_z - действующая в плоскости резания в направлениях главного движения и определяющая нагрузку на станок и резец;

F_y - направлена перпендикулярно обрабатываемой плоскости заготовки;

F_x - действующая параллельно направлению подачи.

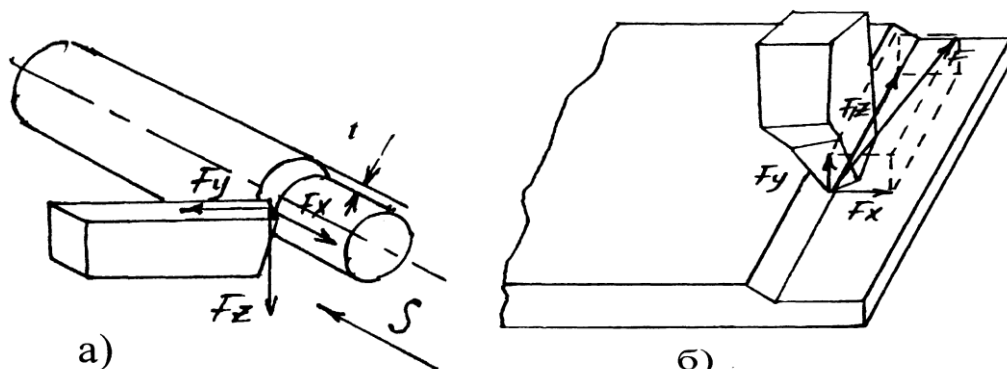


Рис.1.8. Распределение усилий при токарной (а) и строгальной (б) обработке металла

В общем случае приближенно силу резания F_z можно определить по формуле

$$F_z = P_y \cdot t \cdot S, \quad (1.17)$$

где: P_y - удельная сила резания, Н/мм²; t - глубина резания, мм – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностью, измеренное в перпендикулярном направлении к последней; S - подача, мм – перемещение инструмента относительно обрабатываемой детали за один оборот (ход обрабатываемой заготовки (резца)).

Величина удельной силы резания P_y зависит от элементов режима резания (глубины резания, подачи, скорости и условий обработки, физико-механических свойств обрабатываемого материала и других факторов).

В [7] предложено использовать для определения сил резания упрощенные обобщенные формулы.

Влияние ряда факторов, не учитываемых этими формулами, отражается введением поправочных коэффициентов. При работе проходными резцами рекомендуется следующие формулы:

$$F_z = 10C_{pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot V^{N_{pz}} \cdot K_{pz} \quad (1.18)$$

$$F_y = 10C_{py} \cdot t^{X_{py}} \cdot S^{Y_{py}} \cdot V^{N_{py}} \cdot K_{py} \quad (1.19)$$

$$F_x = 10C_{px} \cdot t^{X_{px}} \cdot S^{Y_{px}} \cdot V^{N_{px}} \cdot K_{px}, \quad (1.20)$$

где: C_{pz}, C_{py}, C_{px} - коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств обрабатываемого материала, материала резца, геометрических параметров режущей части инструмента и условий обработки; $X_{pz}, X_{py}, X_{px}, Y_{pz}, Y_{py}, Y_{px}$ - показатели степени, зависящие от тех же факторов; V^N - коэффициент, учитывающий зависимость от скорости резания; V - скорость резания, м/мин; N_{pz}, N_{py}, N_{px} - показатели степени; K_{pz}, K_{py}, K_{px} - поправочные коэффициенты, равные произведению коэффициентов, учитывающих влияние качества обрабатываемого материала и резца $K_M(x, y, z)$, геометрических параметров и износа резца $K_p(x, y, z)$ и других конкретных факторов, не учитываемых коэффициентами C_{pz}, C_{py}, C_{px} .

На практике, для построения нагрузочной диаграммы, по приведенной выше методике, находят силу резания F_z , а значение F_y и F_x находят из соотношения [8] $F_y = (0,3...0,5)F_z$, $F_x = (0,2...0,3)F_z$; значения коэффициентов C и показателей степени X_p, Y_p, Z_p см. в [7].

При расчете моментов сопротивления на валу двигателя главного движения продольно-строгальных станков кроме силы резания учитывается сила трения стола о направляющие.

$$F_{mp} = (G_{дет} + G_{ст} + F_y)\mu, \quad (1.21)$$

где: $G_{дет}, G_{ст}$ - вес изделия и стола, Н; F_y - вертикальная составляющая силы резания, Н; $\mu=0,05...0,08$ - коэффициент трения стола о направляющие.

Суммарная сила определяется по формуле

$$F_z = F_{pz} + F_{mp}.$$

Скорость резания определяется по справочникам режима резания, или по формуле:

$$V = \frac{C_V \cdot K_C \cdot K_1 \cdot K_2}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot S^{Y_V}}, \text{ м/мин} \quad (1.22)$$

где: C_V, X_V, Y_V - коэффициент и показатели степени, зависящие от физико-механических свойств и структуры обрабатываемого материала и материала режущей части резца, а также от условий обработки; K_1, K_2 - поправочные коэффициенты, учитывающие влияние факторов, не учтенных C_V, X_V, Y_V и m ; K_C - коэффициент, учитывающий род работ: для токарных станков $K_C=1$, для строгальных $K_C=0,75$, для долбежных - $K_C=(0,5...0,6)$; m - показатель относительной стойкости, показывающий насколько интенсивно изменяется стойкость с изменением скорости резания; при обработке стали и чугуна $m=0,1...0,2$; $X_V=0,15...0,2$; $Y_V=0,3...0,8$.

T - стойкость резца в мин, время работы резца до допустимой величины износа. Стандартное значение $T=60$ мин.

Расчет сил сопротивлений механизмов подачи

При расчете усилий, действующих на механизм подачи токарных и некоторых других станков, кроме собственного усилия подачи F_x учитывается также усилие трения, возникающее в направляющих суппорта от действия усилий F_z, F_y и веса G . Суммарное усилие, необходимое для перемещения суппорта с резцом в направлении подачи [9], определяют по формуле

$$F_{II} = KF_x + \mu(F_z + F_y + G), \quad (1.23)$$

где: K - коэффициент запаса, равный 1,2 ...1,5; G - вес перемещающихся деталей станка, связанных с подачей; μ - коэффициент трения в направляющих суппорта, равный 0,05...0,08 [8].

При определении усилий, действующих на механизм подачи продольно-строгальных и других станков подобного типа, учитывается только вес перемещающихся деталей, т.к. подача осуществляется при холостом ходе.

При трогании усилие подачи определяется по формуле

$$F_{III} = \mu_{mp}G + \beta S_{mp}, \quad (1.24)$$

где: μ_{mp} - коэффициент трения, обычно выше (в 1,5-2 раза), чем при рабочих скоростях подачи; β - удельное усилие прилипания, равное 0,5Н/см² [9]; S_{mp} - площадь прилегания взаимно трущихся поверхностей механизма подачи, см².

Момент на валу электродвигателя для механизмов главного движения и подачи можно определить по формуле:

$$M_C = \frac{F_C V}{\omega \cdot \eta_{II}}, \quad (1.25)$$

где: F_C - усилие резания или подачи, Н; V - скорость резания или подачи, м/с.

Или для привода главного движения момент определяется по формуле: $M_C = \frac{F_z d}{2i\eta_{II}}$, а для механизма подачи –

по формуле:

$$M_C = \frac{F_{II} d_{cp} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{2\eta_{II} i}, \quad (1.26)$$

где: F_z, F_{II} - усилие резания и подачи соответственно, Н; d, d_{cp} - диаметр обрабатываемой детали и средний диаметр ходового винта, м; α, φ - угол наклона резьбы и трения ходового винта.

Определение усилий резания для землеройной машины

При резании или копании грунта ковшом экскаватора или другими землеройными машинами сопротивление грунта резанию можно определить по формуле [10].

$$F_{рез} = KBh, \quad (1.27)$$

где: h - толщина стружки в м; B - ширина ковша по внутренним стенкам в м; K - коэффициент сопротивления в Н/м².

Удельное сопротивление резанию зависит от формы ковша, вида грунта и других факторов.

Среднее усилие резания для экскаватора ввиду неравномерности глубины копания иногда определяется по формуле:

$$F_{рез} = \frac{V \cdot K}{b \cdot l}, \quad (1.28)$$

где: $V=Bh_{cp}l$ - объем породы в ковше, м³; b - коэффициент разрыхления породы (принимается 1,1...1,35); l - длина линии резания или высоты карьера, м.

Значение коэффициента удельного сопротивления K для отдельных видов грунтов приведено в таблице 1.1.

Уточненная эмпирическая формула для определения силы резания (копание экскаватора):

$$F_{рез} = 10Ch^{1,35}(1 + 2,6B)(1 + 0,0075\alpha) \cdot Z, \quad (1.29)$$

где: C - коэффициент, зависящий от плотности грунта; α - угол резания, обычно принимается 35-40°; Z - коэффициент, зависящий от глубины резания и ширины ковша.

При $h=0,1$ м и ширине ковша от 0,25 до 1,5 м $Z=0,13...0,8$, при $h=0,25$ м и тех же значениях ширины ковша $Z=0,72...0,85$. Момент от силы резания определяется по формуле:

$$M_{рез} = \frac{F_{рез} V_{рез}}{\omega \cdot \eta_{II}}, \quad (1.30)$$

где: $V_{рез}$ - скорость резания (0,5...1) м/с (для ковшей емкостью от 0,25 м² и более).

Таблица 1.1.

Характеристика грунтов

Категория грунта	Характеристика грунта	Плотность, кг/м ³	Коэффициент разрыхления	Удельное сопротивление копанию, кПа	Число ударов плотномером, С
I	Песок, супесь, суглинок легкий, средней крепости, влажны	1,2...1,5	1,08...1,17	18...80	1...4
II	Суглинок без включений, глина легкая влажная	1,4...1,9	1,14...1,28	70...180	5...8
III	Суглинок крепкий, глина средней крепости, влажная	1,6...2,0	1,24...1,3	160...280	9...16
IV	Суглинок крепкий с щебнем, глина крепкая и очень крепкая влажная	1,9...2,2	1,27...1,37	220...400	16...34

1.4. Расчет активных статических нагрузок

Наиболее распространенными активными моментами сопротивления являются моменты, создаваемые силой тяжести (в том числе при движении по наклонной плоскости). Определение сопротивления, создаваемого силой тяжести, зависит от типа грузоподъемной лебедки (одноконцевой или двухконцевой).

В этом блоке также рассматриваются вопросы расчета момента сопротивления при движении по наклонной плоскости и от силы ветра.

Определение момента сопротивления для одноконцевых лебедок

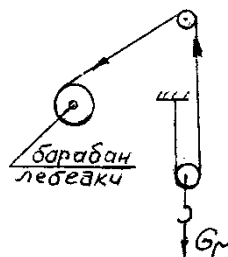


Рис.1.9. Схема нагрузки одноконцевой лебедки

Для одноконцевых лебедок (рис. 1.9) расчет момента производится по формуле

$$M = \frac{G \cdot D_{\delta}}{2i}, \quad (1.31)$$

где: $G=G_z+G_o$ - вес груза и крюка с канатом, Н; D_{δ} - диаметр барабана лебедки в м; i - передаточное число полиспаста и редуктора.

В реальных условиях электропривод преодолевает одновременно активные и реактивные моменты сопротивления, например, при подъеме груза преодолевается момент, определяемый силой тяжести, и момент трения в подшипниках лебедки, блоков и редуктора, а при передвижении по наклонной плоскости сопротивление от сил трения и уклона.

При подъеме груза момент трения учитывается коэффициентом полезного действия:

$$\eta = \frac{M_z}{M_z + M_{mp}},$$

тогда

$$M_C = M_z + M_{mp} = \frac{M_z}{\eta} = \frac{G \cdot D_{\delta}}{2i \cdot \eta}. \quad (1.32)$$

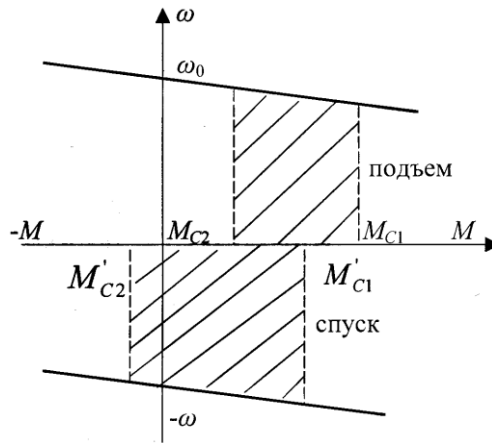


Рис.1.10. Пределы изменения нагрузок электропривода одноконцевых лебедок

При спуске груза $M_C = M_z - M_{mp}$, отсюда

$$M_C = \frac{G \cdot D_o}{2i} \left(2 - \frac{1}{\eta}\right), \quad (1.33)$$

где: M_C, M_z, M_{mp} - моменты сопротивления на валу двигателя от груза и трения соответственно.

Значение КПД зависит от нагрузки, зависимость $\eta = f\left(\frac{G_o + G_z}{G_o + G_{zh}}\right)$, дана в [12].

Из формулы (1.33) следует, что при спуске груза, когда $M_{mp} > M_z$ и $\eta < 0,5$ двигатель работает в силовом (двигательном) режиме.

При $M_z \gg M_{mp}$ M_C при спуске груза можно определить по формуле

$$M_C = \frac{G \cdot D_o}{2i} \eta. \quad (1.34)$$

Пределы изменения момента нагрузок при подъеме и спуске представлены на рис. 1.10.

Определение момента сопротивления для двухконцевой лебедки

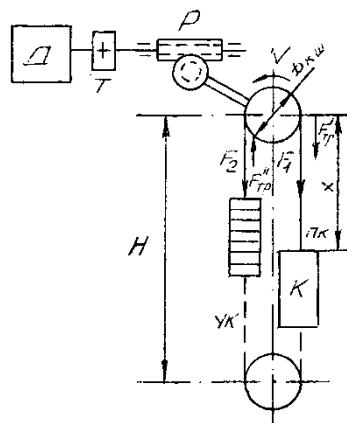


Рис.1.11. Кинематическая схема двухконцевой лебедки. Д – двигатель, Т – тормоз, Р – редуктор, КШ – канатоведущий шкив, К – кабина, Пр – противовес, ПК, УК – подъемный и уравновешивающий канаты

При двухконцевых лебедках на подъемниках применяют две тары (кабины, клетки) или навешивают балластный контргруз (противовес).

Усилие в канатах (рис. 1.11) определяется уравнениями

$$\begin{aligned} F_1 &= G_o + G_z + qX + F_{mp}^I \\ F_2 &= G_{np} + q(H - X) - F_{mp}^{II} \end{aligned} \quad (1.35)$$

где G_o, G_z, G_{np} - вес кабины, груза, противовеса; H ; $G_{np} = G_o + aG_z$; q - вес 1м каната в H ; X - длина каната от оси шкива до кабины, м; H - расстояние от оси шкива до нижней точки конца каната; F_{mp}^I, F_{mp}^{II} - силы трения в направляющих кабины и противовеса.

Результирующее усилие составит: $F = F_1 - F_2$, или

$$F = G_o + G_z - G_o - G_{zn} \cdot \alpha + (X - H + X)q$$

$$\pm (F'_{mp} + F''_{mp}) = G_z - \alpha G_{zn} + q(2X - H) \pm (F'_{mp} + F''_{mp}),$$

где: знак (+) соответствует подъему кабины, а (-) – спуску.

Результирующее усилие, а следовательно момент, представляет сумму активного усилия (момента M) и реактивного обусловленного трением F_{mp} , M_{mp} :

$$M_{cm} = M_z + M_{mp} = \frac{[G_z + q(2X - H) - \alpha G_{zn}]D_{ш}}{2i_{\Pi}} + M_{mp}.$$

Если высота подъема невелика или если вес каната скомпенсирован, составляющая $q(X - H) \approx 0$. Тогда при подъеме номинального груза $G_z = G_{zn}$ и пустой кабины $G_z = 0$ статический момент можно определить с помощью соотношений:

$$\text{с грузом } M_{C1} = M_z + M_{mp} = \frac{G_{zn}(1 - \alpha)D_{ш}}{2i_n \cdot \eta_{nn}}, \quad (1.36)$$

$$\text{без груза } M_{C2} = \alpha M_{zn} + M_{mp} = -\frac{G_{zn} \alpha \cdot D_{ш}}{2i_n} \eta_{nn},$$

где: η_{nn} - КПД подъемной установки с учетом трения в направляющих, соответствующий номинальной нагрузке.

Статический момент при спуске кабины

$$\text{с грузом } M'_C = M_z - M_{mp} = \frac{G_{zn}(1 - \alpha)D_{ш}}{2i_n} \cdot \eta_{nn} \quad (1.37)$$

$$\text{без груза } M''_C = \alpha M_{zn} - M_{mp} = -\frac{G_{zn} \alpha \cdot D_{ш}}{2i_n \eta_{nn}}$$

Влияние коэффициента уравновешивания α на требуемую мощность двигателя можно оценить с помощью среднеквадратичного момента нагрузки M_s , задавшись определенным циклом работы. При условии, что подъемник поднимает полный груз G_{zn} и опускает пустую кабину $G_z = 0$ и $t_n = t_c = t_p$, получим:

$$M_s = \sqrt{\frac{M_{cm1}^2 + (M''_{cm})^2}{2}} = \frac{G_{zn} D_{ш}}{2i_n \cdot \eta_{nn}} \sqrt{\frac{(1 - \alpha^2) + \alpha^2}{2}}.$$

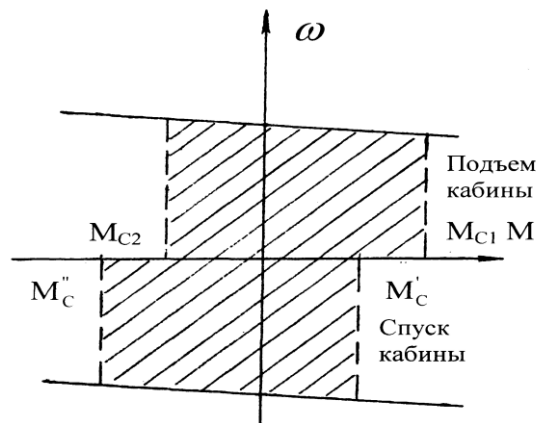


Рис. 1.12. Пределы изменения нагрузок электропривода лифта

Оптимальное значение α_{opt} , при котором M_s минимален, будет $\alpha_{opt} = 0,5$.

Пределы изменения нагрузок электропривода лифтов даны на рис.1.12. При расчете двухконцевых подъемных лебедок, в которых вместо противовеса подвешен 2-ой подъемный сосуд, можно пользоваться приведенными соотношениями, полагая $\alpha = 0$.

При этом, когда вес груза $G_z = 0$, $M = \frac{F_{mp} D_{ш}}{2i}$

Определение момента сопротивления при подъеме по наклонной плоскости

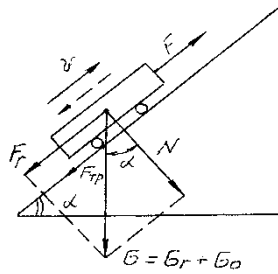


Рис.1.13. Схема усилий в наклонной установке

Подъем по наклонной плоскости осуществляется при движении наклонного подъемника (грузовой тележки крана и других механизмов).

При движении тележки (рис.1.13) по наклонной плоскости:

$$F = F_y + F_{mp} \quad (1.38)$$

где: $F_y = G \cdot \sin \alpha$ - сила, возникающая от подъема груза, Н;

$$F_{mp} = N \cdot K_{mp} = G \cdot \cos \alpha \cdot K_{mp} \text{ - сила трения;}$$

α - угол наклона плоскости, по которой движется тележка;

K_{mp} - коэффициент трения.

Подставляя значения F_y и F_{mp} в формулу (1.38) и принимая, что $G = G_e + G_o$, получим

$$F = G(\sin \alpha + \cos \alpha \cdot K_{mp}). \quad (1.39)$$

Момент сопротивления на валу двигателя определяется по формуле

$$M_c = \frac{F \cdot D_{\bar{o}}}{2i \cdot \eta}. \quad (1.40)$$

Определение моментов сопротивления от силы ветра

Сила сопротивления от давления ветра для механизмов передвижения и поворота определяется из выражения:

$$F_{\bar{o}} = P_{\bar{o}} \cdot S_{\bar{o}}, \quad (1.41)$$

где: $P_{\bar{o}}$ - ветровое давление (Н/м^2); для кранов, работающих на открытом воздухе, принимается равным 150-250 Па; $S_{\bar{o}}$ - площадь парусности машины, м^2 .

Площадь парусности машины может быть найдена из выражения

$$S_{\bar{o}} = K_{cn} S_{\bar{o}к} + S_{\bar{o}г} \quad (1.42)$$

где: K_{cn} - коэффициент сплошности конструкции, численно равный 0,3...0,6 для ферм и 0,7...0,8 для механизмов; $S_{\bar{o}к}$, $S_{\bar{o}г}$ - площадь, ограниченная контуром конструкции и груза.

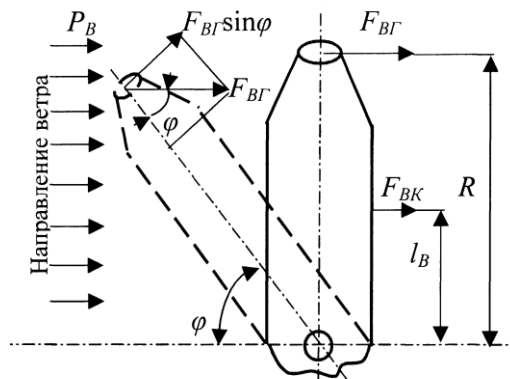


Рис.1.14. Схема ветровой нагрузки поворотной платформы

Для механизма передвижения момент сопротивления от давления ветра определяется по формуле:

$$M = F_{\bar{o}} \cdot \frac{D_k}{2}. \quad (1.43)$$

Здесь D_k - диаметр колеса.

Для механизма поворота максимальный момент сопротивления от давления ветра (рис.1.14) будет при

перпендикулярном его направлению по отношению к поверхности конструкции.

В этом случае он определяется из выражения:

$$M_{\epsilon, \max} = F_{\epsilon z} \cdot R + F_{\epsilon k} \cdot l_{\epsilon}, \quad (1.44)$$

где: $F_{\epsilon z}$, $F_{\epsilon k}$ - сила сопротивления от давления ветра на груз и конструкцию, Н; R , l - плечо приложения силы ветра на поворотную часть крана (экскаватора).

При произвольном положении поворотной платформы

$$M_{\epsilon}^{\varphi} = M_{\epsilon, \max} \cdot \sin \varphi, \quad (1.45)$$

где: φ - угол поворота платформы по отношению к направлению ветра (рис.1.14).

Среднеквадратичная величина, которая принимается при определении эквивалентного момента

$$M_{\text{скв}} = 0,7 M_{\epsilon, \max}$$

Полная сила сопротивления для механизмов, работающих на открытом воздухе, определяется выражением:

$$F_{\text{полн}} = \pm F_y \pm F_{\epsilon} + F_{\text{тр}}. \quad (1.46)$$

1.5. Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения

Расчет динамических моментов

Динамические нагрузки возникают при изменении скорости движения механизма в результате управляющих или возмущающих воздействий.

Ударные нагрузки возникают после выборки зазоров в передаче, а также в результате соприкосновения рабочего органа с обрабатываемым материалом или с препятствием.

Динамические моменты определяются величиной инерционных масс, приводимых в движение. Порядок расчета динамических моментов определяется кинематической схемой механизма. Здесь различают жесткие кинематические схемы, в которых скорость каждого звена схемы однозначно связана со скоростью вала электродвигателя, и кинематические схемы, в которых из-за наличия упругих элементов и зазоров, такая жесткая связь отсутствует. В первом случае динамическая система рассматривается как одномассовая с приведением моментов инерции вращающихся частей машины и поступательно движущихся масс к валу электродвигателя. Во втором случае механическая система рассматривается как многомассовая (чаще двухмассовая).

Для динамической системы динамический момент электропривода при заданном ускорении $\epsilon = \frac{d\omega}{dt}$,

которое обычно ограничено технологическими условиями, может быть определен из соотношения:

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1.47)$$

где: $J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{гп}}}{i_n^2} + \frac{mV^2}{\omega_{\text{дв}}^2}$ - суммарный приведенный момент инерции, включающий в себя момент инерции ротора двигателя ($J_{\text{дв}}$) и приведенный момент инерции всех вращательно $\left(\frac{J_{\text{ф}}}{i_n^2}\right)$ и поступательно движущихся масс установки $\left(\frac{mV^2}{\omega^2}\right)$.

Для большинства механизмов основную долю в моменте J_{Σ} составляет момент инерции двигателя $J_{\Sigma} = (1,2...1,5)J_{\text{дв}}$.

В подъемных установках с двухконцевой лебедкой суммарный момент инерции J_{Σ} превышает момент инерции двигателя в 2...10 раз [12], так как момент инерции определяется суммой движущихся масс $m_{\text{пр}} = m_{\text{нв}} + m_{\text{нс}} + m_{\text{зр}} + m_{\text{к}}$, где $m_{\text{нв}}$, $m_{\text{нс}}$, $m_{\text{зр}}$, $m_{\text{к}}$ - массы соответственно противовеса, подъемного сосуда (кабины), груза, подъемного и компенсационного канатов.

У механизмов передвижения и поворота кранов и для механизмов поворота экскаваторов момент инерции движущихся масс может быть в 2...20 раз больше инерции двигателя. Поэтому для таких механизмов при большой частоте включения именно динамические нагрузки могут определять необходимую мощность двигателя.

Передача динамических усилий вызывает дополнительные потери в редукторе, которые желательно в расчетах учитывать, если динамические нагрузки передач соизмеримы со статическими или превышают их.

Учет потерь в редукторе производится при определении динамических моментов, приведенных к валу двигателя, путем деления на КПД редуктора (при пуске) или умножения (при торможении).

При проектировании электропривода в некоторых случаях необходимо учитывать зазоры в передачах, так как после выборки зазоров, возникают ударные нагрузки, которые по своей величине могут превышать пусковые моменты двигателя. Особенно это относится к механизмам с большими инерционными массами и передаточными числами. Например, при изношенном зубчатом венце механизма поворота экскаватора зазор может достичь 1...1,5 оборота вала двигателя, а для механизма поворота башенного крана 2...3 оборота двигателя. За счет возникающих в результате удара механических колебаний максимальная нагрузка в передаче возрастает в сравнении с той, которая имела бы место при жесткой связи масс и отсутствии зазоров. Отношение максимальной нагрузки к средней называют динамическим коэффициентом. Динамическая нагрузка передачи определяется ускорением в период выбора зазоров и соотношением приведенных инерционных масс двигателя и механизма. Если за время выборки зазора двигатель достигнет установившейся скорости, то ударная нагрузка при окончании выборки зазора будет тем больше, чем больше скорость двигателя.

Технические решения по ограничению динамических моментов и ударных нагрузок

Для ограничения ударных моментов при выборке зазора для электропривода с параметрическим (реостатным) пуском предусматривают одну-две предварительные реостатные характеристики, обеспечивающие возможность снижения пускового момента до $(0,4...0,6)M_C$ для выбора зазоров и слабину каната. При этом шунтирование сопротивления по мере разгона (торможения) осуществляется, как правило, в функции тока или времени.

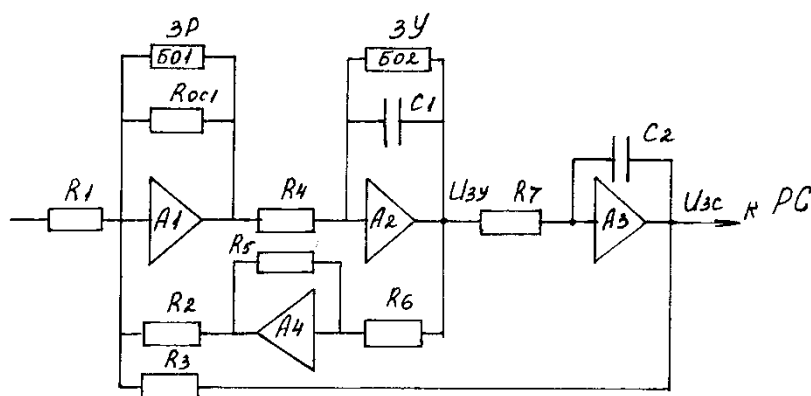


Рис.1.15. Комбинированный задатчик интенсивности

Наиболее полное ограничение динамических и ударных нагрузок можно осуществить в случае использования регулируемых электроприводов с системами автоматического управления. В таких электроприводах для ограничения динамических и ударных моментов используют задатчики интенсивности ЗИ.

Задатчик интенсивности изменяет скорость по линейному закону, т.е. с постоянным ускорением. В этом случае ускорение при выборке зазора и после выборки не изменяется, что не всегда удобно, так как для выборки зазора необходимо небольшое ускорение, а после выборки, с целью повышения производительности ускорение целесообразно увеличить. Характеристику, отвечающую этим требованиям, можно получить с помощью комбинированного задатчика интенсивности (КЗИ), одна из возможных схем которого представлена на рис.1.15. КЗИ состоит из последовательно соединенных задатчиков рывка ЗР, ускорения ЗУ и скорости ЗС. Задатчик рывка представляет собой операционный усилитель с релейной характеристикой. Ограничение выходного напряжения задатчика рывка обеспечивается блоком БО1. В качестве задатчика ускорения используется интегральный операционный усилитель с ограничением напряжения U_{zy} блоком БО2.

Темп изменения выходного напряжения U_{zy} и его знак зависят от величины и знака напряжения рывка U_{zp} . Задатчик скорости также собран по схеме интегратора, поэтому темп и направление изменения его выходного напряжения U_{zc} зависят от значения и полярности U_{zy} . Диаграммы изменения во времени выходного напряжения КЗИ и задатчиков рывка и ускорения приведены на рис.1.16.

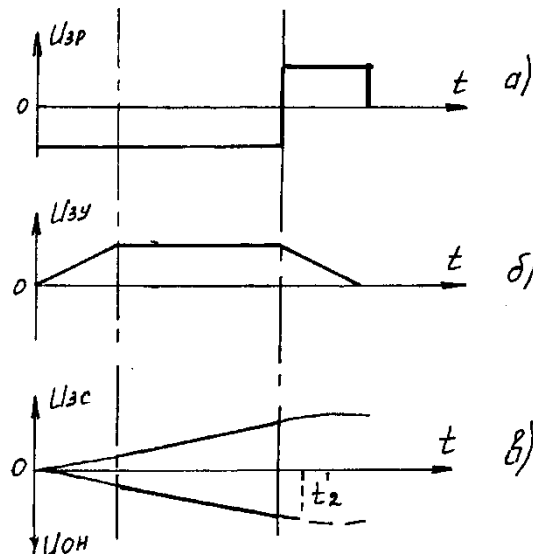


Рис.1.16. Диаграммы работы комбинированного задатчика интенсивности

Время нарастания U_{zy} определяется из выражения $t = \frac{a}{\rho}$, где: a, ρ – ускорение и рывок (м/с^2 и м/с^3).

В замкнутых системах регулирования с суммирующим усилителем, как правило, применяют токовые отсечки, а в системах подчиненного регулирования используют ограничение задания на ток (напряжение на выходе регулятора скорости). Ограничение тока достигается также применением задатчика интенсивности.

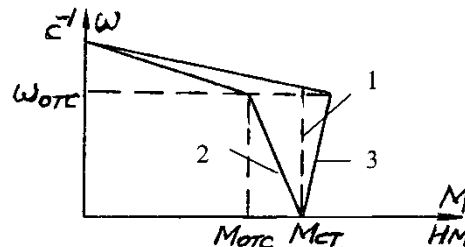


Рис.1.17. Экскаваторные механические характеристики

Характеристики с ограничением момента называются экскаваторными. Качество ограничения момента обычно характеризуется заполнением экскаваторной характеристики, которое тем больше, чем жестче ее рабочий участок и чем круче участок отсечки.

Идеальная экскаваторная характеристика (1) показана на рис.1.17. Там же представлены реальные экскаваторные характеристики с разным заполнением (кривые 2, 3). При достаточной жесткости рабочего участка заполнение характеристик оценивается коэффициентом отсечки $K_{отс} = \frac{M_{отс}}{M_{стоп}}$.

Максимальные нагрузки элементов привода в процессе стопорения увеличиваются за счет динамической нагрузки. Отношение максимальной нагрузки к установившейся [12] определяет динамический коэффициент:

$$K_{дин} = \frac{M_{12, макс}}{M_{ст}} = 1 + \omega_{нач} \frac{\sqrt{J_1 \cdot C_{12}}}{M_{стоп}}. \quad (1.48)$$

Перегрузки тем больше, чем больше начальная скорость $\omega_{нач}$, момент инерции J_1 и жесткость рабочего оборудования C_{12} . При уменьшении коэффициента отсечки $K_{отс}$ (увеличение жесткости на участке отсечки) затухание колебаний происходит быстрее. Поэтому для подъемных лебедок экскаваторов-лопат и грейферных кранов желательна характеристика с коэффициентом отсечки 0,7...0,8. Такая форма экскаваторной характеристики одновременно уменьшает частоту стопорений, так как обеспечивает заблаговременные снижения скорости при механической перегрузке еще до достижения стопорной нагрузки. При этом по снижению скорости машинист оценивает нагрузку двигателя и своевременно предпринимает действия, направленные на уменьшение перегрузки, например уменьшение напорного усилия экскаватора-лопаты при перегрузке электропривода подъема.

Уменьшение пускового момента при двухмассовой механической системе достигается, как и при жесткой связи, уменьшением ускорения (замедления), а снижение амплитуды колебания после завершения пуска (торможения) можно получить двумя путями: первый способ – принимают время пуска равным периоду собственных колебаний механической системы; второй – демпфированием колебаний с помощью регулирования жесткости механической характеристики электропривода.

Время пуска регулируется двумя способами: с помощью задатчика интенсивности и ограничением тока электродвигателя с помощью САР. В первом случае, ввиду жестких механических характеристик двигателя, считается, что груз подвешен к жесткой опоре, и колебания определяются, исходя из закона колебания материальной точки, подвешенной на гибкой нити. Частота свободных колебаний определяется следующими формулами:

$$\Omega_{o2} = \sqrt{\frac{C_{12}}{J_2}} \text{ или } \Omega_{o2} = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad (1.49)$$

а период колебаний и соответствующее ему время разгона по формуле:

$$t_p = T_{nep} = \frac{2\pi}{\Omega_{o2}}. \quad (1.50)$$

При ограничении тока САР жесткость механической характеристики $\beta=0$ и частота свободных колебаний системы определяется по формуле:

$$\Omega_{o2} = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}}, \quad (1.51)$$

а период колебаний T_{nep} , а следовательно время разгона, по формуле (1.50).

После определения времени разгона (торможения) определяется средний пусковой (тормозной) момент и ток:

$$M_{nyc} = M_c + J_\Sigma \frac{\omega_n}{t_p}, \quad M_{top} = M_c - J_\Sigma \frac{\omega_n}{t_m}, \quad (1.52)$$

где: M_c - момент сопротивления; J_Σ - суммарный приведенный момент инерции системы, кг.м²; ω_n - номинальная скорость электродвигателя.

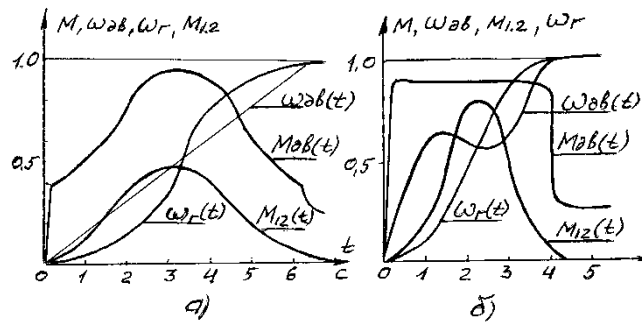


Рис.1.18. Зависимость $(\omega_{o6}, \omega_r, M_{o6} \text{ и } M_{12}) f(t)$ при пуске электропривода механизмов передвижения и поворота с подвешенным грузом. а) с задатчиком интенсивности; б) с ограничением тока (задание скорости скачком)

Кривые переходных процессов, рассчитанные для конкретных механизмов при разных способах пуска, представлены на рис.1.18. Из формул (1.49, 1.51) следует, что время разгона меньше при пуске с ограничением тока и разница тем больше, чем больше момент инерции J_2 .

Демпфирование колебаний зависит от жесткости механической характеристики. При $\beta=\infty$ и $\beta=0$ демпфирования не происходит.

Для механизмов с подвеской груза оптимальное значение жесткости определяется по формуле:

$$\beta = \frac{J_1 \sqrt{\frac{q}{l}}}{0,7 \dots 0,9}. \quad (1.53)$$

Для двухмассовых систем с гибкой связью, зависящей от материала (растяжение, скручивание), небольшое затухание колебаний происходит от вязкого трения. Тормозной момент вязкого трения определяется формулой [13]:

$$M_{amp} = \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2), \quad (1.54)$$

где: β_{12} - коэффициент вязкого трения; ω_1, ω_2 - угловые скорости концов упругого элемента.

Наличие внутреннего вязкого трения в упругой системе обычно отражается на расчетной схеме включением параллельно упругой связи механического демпфера. Момент нагрузки упругой связи с учетом момента потерь на внутреннее вязкое трение запишется в следующем виде:

$$M_{12} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_{12}(\omega_1 - \omega_2) = \left(\frac{C_{12}}{p} + \beta_{12}\right)(\omega_1 - \omega_2). \quad (1.55)$$

Коэффициент вязкого трения приближенно, можно определить из формулы:

$$\beta_{12} = \frac{\lambda_{em}}{\pi} \sqrt{\frac{C_{12} J_1 J_2}{J_1 + J_2}}, \quad (1.56)$$

где: $\lambda_{\text{вн}}=0,1\dots0,3$ - логарифмический декремент затухания колебаний под действием сил вязкого трения. После определения времени разгона (торможения) определяется пусковой (тормозной) момент и ток. При пуске (торможении) с ограничением момента, момент определяется по формуле:

$$M_{n(m)} = M_C \pm J_{\Sigma} \frac{\omega_n}{t_p}, \quad (1.57)$$

где: $M_C=M_{C1}+M_{C2}$ - полный суммарный момент сопротивления.
Момент упругой связи определяется [14] из уравнения:

$$M_{12} = J_2 \varepsilon_{cp} (1 - \cos \Omega_{o(1,2)} t) + M_{C2},$$

где: $\varepsilon_{cp} = \frac{\omega_n}{t_p} = \frac{M - M_C}{J_1 + J_2}$ - среднее ускорение.

Максимальное значение момента ($M_{12\text{макс}}$) будет при $\Omega_{12} t = \frac{\pi}{2}$ и определяется из соотношения:

$$M_{12\text{макс}} = \frac{2J_2}{J_1 + J_2} (M - M_C) + M_{C2}.$$

При пуске с задатчиком интенсивности максимальной пусковой момент определяется из соотношения:

$$M_{п.макс} = M_C + (J_1 + 2J_2) \frac{\omega_n}{t_p}. \quad (1.58)$$

РАЗДЕЛ 2:

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ МЕХАНИЗМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.

Механизмы непрерывного действия с постоянной нагрузкой делят на две группы: с сосредоточенной и распределенной нагрузкой.

К первой группе относятся механизмы главного движения некоторых видов токарных, карусельных и других станков, как правило, средних и тяжелых групп.

Ко второй – конвейеры, эскалаторы, кольцевые канатные дороги, рольганги и т.д.

Общее в этих механизмах – это продолжительный режим работы электродвигателя. При расчете его мощности, как правило, не учитывают нагрузки при пуске и торможении. Электропривод механизмов первой группы будет рассмотрен в разделе электропривод металлорежущих станков. Электропривод механизмов второй группы рассмотрен на примере конвейеров.

Электропривод механизмов непрерывного действия с постоянной распределенной нагрузкой

Требования, предъявляемые к электроприводу механизмов с распределенной нагрузкой

1. Регулирование скорости не требуется или требуется в небольшом диапазоне $D=2\dots5$.
2. Требуется повышенный пусковой момент из-за большего по величине момента трения покоя относительно момента трения движения.
3. Необходимо обеспечение плавности переходных процессов – ограничение ускорения и рывка с целью исключения раскачивания или пробуксовки механизма и снижения динамических усилий при наличии упругих связей. Желательно [17], чтобы при пуске привод конвейера имел характеристику с постепенным увеличением пускового момента до начала трогания конвейерной ленты и ограниченной величиной момента в процессе разгона до номинальной скорости.
4. При работе с несколькими приводными барабанами привод должен обеспечивать синхронизацию работы приводных барабанов, т.е. установления расчетного распределения тягового усилия между приводными барабанами.
5. Приводы мощных конвейеров с высокой скоростью движения ленты должны обеспечивать пониженную скорость 1м/с для проведения ее осмотра.
6. Привод мощных конвейеров должен обеспечивать реверс в режиме местного управления.

Многие из конвейеров имеют недостаточно жесткую кинематическую цепь, содержат упругие механические звенья, что влияет на выбор типа электропривода и системы управления из-за необходимости демпфирования механических колебаний при пуске и торможении.

Определение нагрузок конвейера и расчет мощности электродвигателя

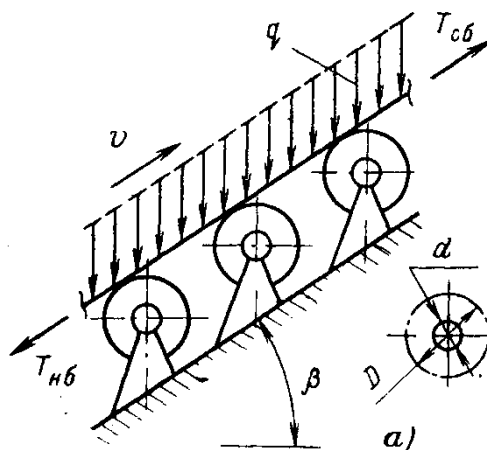


Рис.3.1. Прямолинейный участок конвейера

Силы сопротивления движению конвейера можно разделить на две категории: независящие от натяжения тягового элемента и зависящие от этого натяжения. Первые возникают на прямолинейных горизонтальных и наклонных участках и распределены равномерно (рис.3.1).

Вторые – на участках изгиба тягового элемента и сосредоточены в рамках дуги этого участка (рис.3.2). Сила сопротивления движению на прямолинейном участке определяется как сопротивление движению по наклонной плоскости [12]

$$\begin{aligned} \Delta F &= C_n q l \cos \beta + q l \sin \beta, \\ &= q l (C_n \cos \beta + \sin \beta) \end{aligned} \quad (3.1)$$

где: q - весовая нагрузка на 1 метр пути, Н/м. В весовую нагрузку входят вес транспортируемого материала, вес ленты и вес опорных роликов; l - длина участка в метрах; β - угол наклона конвейера (рис.3.1); C_n - результирующий коэффициент сопротивления движению на прямолинейном участке.

В расчетах для ленточных и цепных конвейеров C_n принимают в пределах 0,03...0,06 [18] в зависимости от условий окружающей среды и транспортируемого материала (пыль, температурные изменения и т.д.).

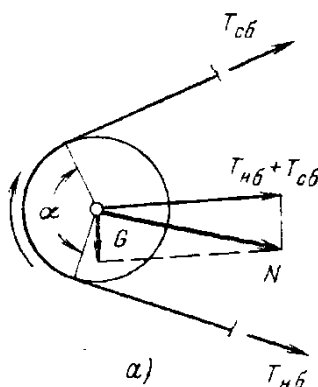


Рис.3.2. Участок изгиба тягового элемента

Весовую нагрузку от роликов определяют по формуле:

$$q_p = \frac{9,81 m_p n}{2l},$$

где: m_p - масса ролика в кг; n - количество роликов на участке.

Массу груза на один метр длины определяют из соотношения

$$q = \frac{Q_n}{3,6V},$$

где: Q_n - производительность конвейера, т/час; V - скорость, м/с.

На участках изгиба (рис.3.2) сила сопротивления движению состоит из двух слагаемых: силы от изгиба тягового элемента, пропорциональной натяжению в набегающей точке участка $T_{нб}$, и силы трения в подшипниках блоков или роликов, пропорциональной равнодействующей силе N на участке. Следовательно:

$$\Delta F_u = \varepsilon T_{нб} + N\mu \frac{d}{D},$$

где: ε - коэффициент от изгиба тягового элемента.

В конвейерных установках обычно $T_{нб} \gg G$, $\Delta F_u \ll T_{нб}$. Поэтому при определении равнодействующей N весом блока G пренебрегают и принимают, что натяжение в набегающей $T_{нб}$ и сбегающей $T_{сб}$ точках равны. При этом

$$\Delta F_u = C_u T_{нб},$$

где: $C_u = \varepsilon + 2\mu \frac{d}{D} \sin \frac{\alpha}{2}$ - результирующий коэффициент на участке изгиба.

Для ленточного конвейера при изгибе ленты на барабане и $\alpha=90...180^\circ$ $C_u=(4...6) 10^{-2}$, а при изгибе ленты на роликовой батарее и угле обхвата $\alpha=20-45^\circ$ $C_u=(1,2...3) 10^{-2}$.

Сила сопротивления вызывает увеличение натяжения тягового элемента на каждом участке. Для прямолинейного участка $T_{нб}=T_{сб}+\Delta F_n$, для участка изгиба $T_{сб}=T_{нб}+\Delta F_u=K_u T_{нб}$, где $K_u=1+C_u$ - коэффициент увеличения натяжения на данном участке.

Результирующая сила сопротивления движению определяется как сумма сил всех участков

$$F_{см} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_{ni} + \sum_{i=1}^{i=n} \Delta F_{ui} = \sum_{i=1}^{i=n} q_i l_i (C_n \cos \beta_i + \sin \beta_i) + \sum_{i=1}^{i=n} C_{ui} T_{нб_i}.$$

Так как силу $F_{см}$ должен преодолеть приводной элемент, то при установившемся движении разность натяжений на нем уравнивается силой сопротивления:

$$F_{см} = T_{нб} - T_{сб}.$$

Усилие $T_{сб}$ должно быть не меньше минимально допустимого натяжения $T_{сб} \geq T_o$. Минимальное натяжение определяется условием допустимого провиса тягового органа.

Минимальное натяжение по условию провиса определяется уравнением [18]:

$$T_{мин} \geq T_o = \frac{(q + q_o)gl^2}{8Y_{макс}}, \text{ Н,}$$

где: q, q_o - масса груза и ленты конвейера на 1 метр длины, кг/м; l - шаг установки роликов на рабочей ветви, м; $Y_{макс}=(0,025...0,03)$ - допустимая величина провисания ленты, м,

По условию сцепления $T_{сб} \geq \frac{T_{нб}}{e^{f\alpha}}$,

где: α - угол обхвата барабана в радианах; $f=0,1...0,35$ - коэффициент трения между лентой и барабаном; $T_{нб}=T_o+F_{см}+ma$ - набегающее натяжение приводного барабана; m - масса поступательно движущихся частей конвейера; a - ускорение при пуске.

Из двух результатов выбирается большее значение.

Динамические нагрузки привода конвейера возникают в процессе пуска и определяются движущимися массами собственно конвейера и его приводной станции

$$F_{дин} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i a_n + (J_{об} i_p^2 + J_n) \frac{a_n}{R_n^2},$$

где: $F_{дин}$ - динамическая сила на обводе приводного элемента с радиусом R_n ; m_i - движущаяся масса одного прямолинейного участка совместно с массой предшествующего участка изгиба (для роликов $m_i = \frac{m_p n}{2}$, n - количество роликов); $J_{об}, J_n$ - момент инерции двигателя и приводного элемента (барабана, редуктора); i_p - передаточное число редуктора приводной станции; a_n - ускорение конвейера.

Момент на валу электродвигателя при пуске $M = \frac{(F_{см} + F_{дин}) \cdot R_n}{i_p \eta_n}$.

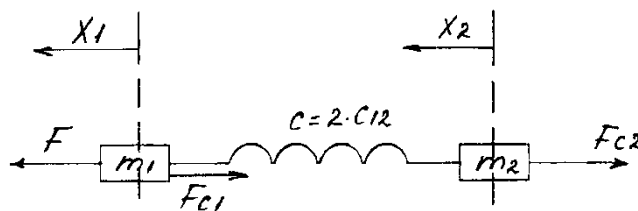


Рис.3.3. Эквивалентная двухмассовая схема конвейера

Т.к. конвейеры имеют упругие элементы (лента, цепь и т.д.), то в них могут возникнуть колебания, отражаясь на скорости, моменте, токе. Для определения влияния упругости тянущего органа в ленточных конвейерах на момент и скорость распределенные массы заменяются сосредоточенными и разносятся поровну на концы рабочей ветви конвейера (рис.3.3). Влияние упругости обратной ветви конвейера заменяется на двойное значение коэффициента жесткости C рабочей ветви. Система ленточного конвейера приводится к схеме двухмассовой эквивалентной модели, в которой на массы, связанные гибкой лентой, действует усилие F . При пуске таких систем в упругом элементе возникают динамические усилия, превышающие усилия жесткой системы в 2 раза.

Для снижения этих усилий необходимо уменьшить ускорение, а в начале пуска при нулевой скорости осуществить натяжение упругого элемента. Время разгона следует принимать кратное периоду собственных колебаний системы. Определение этого периода при пуске с задатчиком интенсивности и при ограничениях тока различно. Жесткость ленты равна

$$C = \frac{EBh}{L},$$

где: E - модуль упругости Н/м^2 [19]; B, h - ширина и толщина ленты, м; L - длина рабочего участка, м.

Мощность на валу приводного электродвигателя в общем случае определяется по формуле

$$P_c = K \frac{F_{c.макс} V}{\eta} 10^{-3},$$

где: $F_{c.макс}$ - максимальное статическое усилие, Н; V - заданная скорость перемещения, м/с; η - КПД передачи; K - коэффициент запаса (1,1...1,2), отражающий дополнительные усилия и неучтенные нагрузки.

Для конвейера мощность может определяться по приближенной формуле:

$$P_c = \frac{C \cdot L_c \cdot W \cdot V}{102} (2q_l + q + q'_p + q''_p) \pm \frac{Q \cdot H}{367} \text{ кВт}; \quad (3.2)$$

где: $q_l = 1,15B \cdot h \cdot 10^{-3}$; q, q'_p, q''_p - линейные массы ленты, груза, рабочих и холостых роликов, кг/м; L_c - горизонтальная проекция длины конвейера, м; $W=(0,02...0,06)$ - обобщенный коэффициент сопротивления движению; C - коэффициент, учитывающий мощность, необходимую для изгиба ленты на барабанах и преодоления других сопротивлений (табл.3.1); Q - производительность конвейера, т/час; V - скорость движения ленты, м/с; H - высота подъема конвейера, м.

Значение коэффициента C от L_c дано в таблице 3.1.

Таблица 3.1

L_c	3	10	20	50	100	180	400	600	1000	1500
C	9	4,5	3,2	2,2	1,75	1,5	1,2	1,15	1,08	1,05

Для неуказанных значений C можно определять из соотношения:

$$C = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{L_1 - L_0} (X - L_0),$$

где: C_0, C_1 - коэффициенты для предыдущего и последующего значений длины конвейера; L_0, L_1, X - предыдущая, последующая и фактическая горизонтальная проекция длины конвейера.

Для механизмов, имеющих неизменную нагрузку (конвейеры, канатные дороги), нагрузочная диаграмма соответствует режиму работы S1, расчет мощности производится для режима S1.

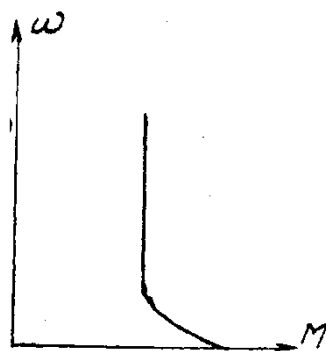


Рис.3.4. Механическая характеристика конвейера

Выбранный электродвигатель проверяют по условиям пуска, так как момент при трогании превышает статический момент при движении в 1,25...1,8 раза (рис.3.4), из-за того, что коэффициент трения покоя больше коэффициента трения движения и из-за застывания смазки. Для ленточного конвейера и ременных передач пусковой момент должен быть проверен на сцепление.

Пусковое усилие электродвигателя не должно превышать сил сцепления ленты с приводным барабаном (шквом).

2.2. Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.

Механизмы с распределенной нагрузкой могут иметь однодвигательный или многодвигательный электропривод. Многодвигательные электроприводы применяются для конвейерных линий значительной протяженности, когда даже оптимальное расположение приводной станции на трассе не обеспечивает снижения максимального натяжения до допустимого уровня или когда технико-экономические показатели при многодвигательном приводе лучше, чем при однодвигательном.

В зависимости от требований к плавности пуска в механизмах с рассредоточенной нагрузкой применяются: электроприводы с короткозамкнутыми асинхронными двигателями с повышенным пусковым моментом; асинхронные электродвигатели с фазным ротором для конвейерных линий большой протяженности для обеспечения плавного пуска.

Для приводов, где требуется регулирование скорости, наиболее перспективен электропривод по схеме ПЧ-АД, возможно также применение системы АВК и электроприводов постоянного тока по схеме ТП-Д. Для многодвигательных приводов с целью получения благоприятного распределения нагрузки между двигателями применяют асинхронные короткозамкнутые двигатели с повышенным скольжением или асинхронные двигатели с фазным ротором. В первом случае распределение нагрузок между электродвигателями улучшается благодаря более мягким механическим характеристикам. Во втором случае механические характеристики выравниваются с помощью включения в цепь ротора одного из двигателей добавочного сопротивления. Кроме того, применение асинхронных двигателей с фазным ротором помогает решить проблему плавности пуска и ограничения пусковых токов с помощью реостатного многоступенчатого пуска или с помощью тиристорного регулятора тока в цепи ротора [12].

Управление электроприводами одиночных конвейеров, не связанных с другими механизмами, производится посредством магнитных пускателей. Защита осуществляется автоматами с максимальной и тепловой защитой.

Более сложны схемы управления совместно работающими конвейерами или поточно-транспортными системами ПТС. В основе проектирования схем управления такими транспортными системами лежат следующие требования:

1. Пуск двигателей конвейеров должен производиться в направлении, обратном технологическому потоку, чтобы на конвейерах не образовывалось завала транспортируемого груза.
2. При остановке одного из конвейеров двигатели других конвейеров, подающих материалы на останавливаемый, сразу отключаются, двигатели остальных конвейеров могут продолжать работать.
3. При общей остановке транспортной линии первым должен отключаться двигатель того конвейера, с которого поступает материал на другие конвейеры, а затем поочередно отключаются остальные двигатели.
4. Для предотвращения большого снижения напряжения в питающей сети двигатели конвейеров значительной мощности должны пускаться поочередно.
5. Для опробования и наладки конвейеров следует обеспечить возможность пуска и остановки любого из них независимо от других конвейеров (обычно пуск и остановка при наладке производятся с рабочего места).
6. В схемах необходимо предусматривать предупредительную (световую и звуковую) и аварийную сигнализацию, а также сигнализацию о работе всех агрегатов.
7. Конвейер большой протяженности оснащается кнопками управления, позволяющими остановить его с любого места.
8. В схемах автоматизации промышленных транспортных систем к типовым видам защит относятся:
 - контроль исправного состояния тягового элемента (ленты, канаты, цепи) и отключение установки при чрезмерной вытяжке тягового элемента, слабом натяжении, сходе с направляющих роликов, отводных барабанов и шкивов;
 - отключение установки при превышении скорости;
 - отключение установки при затянувшемся пуске;
 - предупреждение завалов бункеров загрузочных и перегрузочных устройств.

Комплексная автоматизация поточно-транспортных систем

Для комплексной автоматизации поточно-транспортных систем (ПТС) применяется диспетчерское управление механизмами на расстоянии, которое заключается в централизации управления и реализуется для небольших ПТС из 5-10 механизмов с помощью контактной силовоточной аппаратуры управления. Для больших ПТС из 12-1000 механизмов – маломощными средствами автоматики, техники сигнализации и связи с применением программируемых контроллеров и управляющих ЭВМ. Такие системы управления ПТС могут применяться на агломерационных и обогатительных фабриках, элеваторах, цементных заводах, предприятиях конвейерного производства железобетонных изделий и т.п.

Основными узлами схем автоматизации, применяемыми в ПТС, являются блокировки, осуществляющие взаимную связь между электроприводами механизмов в соответствии с технологическим процессом. Блокировки обеспечивают определенный порядок пуска и остановки отдельных двигателей.

Процесс пуска и остановки состоит из трех основных операций: подготовительной, избирательной и исполнительной. Первая из этих операций необходима для подготовки к действию цепей управления. При второй операции выбирают участок и подготавливают к включению цепи электроприводов механизмов, избранных для работы. Третья операция заключается в пуске электродвигателей в определенной последовательности и через определенное время. Время включения (отключения) каждого последующего электродвигателя может определяться реле времени, таймером или блокировкой от датчика скорости.

На рис. 3.5 – 3.10 показаны элементы простой ПТС, состоящей из конвейеров и 4-х потоков перемещения груза.

- 1-ый поток 1-3-4В-5 конвейеры;
- 2-ой поток 1-3-4Н-6 конвейеры;
- 3-ий поток 2-3-4В-5 конвейеры;
- 4-ый поток 2-3-4Н-6 конвейеры.

Управление электроприводами может осуществляться в двух режимах централизованным – автоматическим и в наладочном режиме, когда пуск и остановка каждого конвейера производится независимо от состояния других.

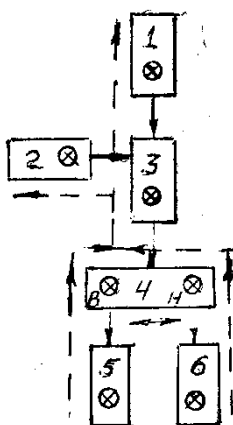


Рис.3.5

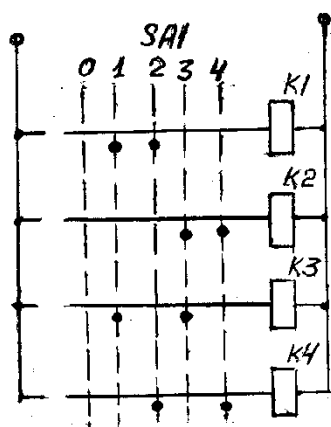


Рис.3.6

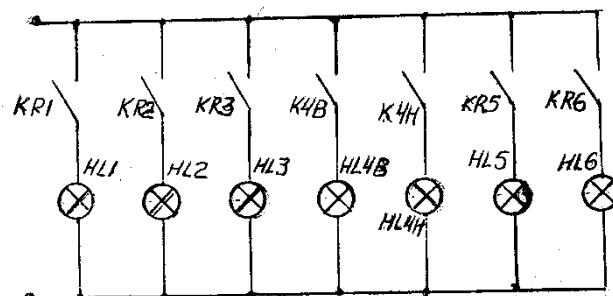


Рис.3.7

На централизованном (диспетчерском) пункте находится мнемосхема ПТС рис.3.5, отображающая технологическую схему с сигнальными лампочками каждого конвейера (бункеры на схеме не показаны), указанием направления технологического процесса и последовательность включения электродвигателей (штриховые линии). Схема включения сигнальных лампочек представлена на рис.3.7. На рис.3.6 дана схема включения потоков. На первом положении включен поток 1, на втором 2 и т.д. На рис.3.8 показана схема включения ПТС с центрального пульта управления. На рис.3.8 и 3.9 – схема управления ПТС и схема включения электродвигателей 1-го и 4-го реверсивного конвейеров.

Из мнемосхемы следует, что загрузка может производиться на 1-ый и 2-ой конвейеры, а разгрузка – с 5-го и 6-го.

Выбор режима работы на пульте управления осуществляется переключателем SA2 (рис.3.10), а требуемый поток – переключателем SA1 (рис.3.6).

Включение цепи управления осуществляется выключателем SA3 (рис.3.8).

Реле времени КТ1 и КТ2 предназначены для выдержки времени между включением (КТ1) и отключением (КТ2) двух соседних конвейеров. Выдержка времени требуется для уменьшения нагрузки в сети при пуске и для освобождения конвейеров от материала при остановке. Материал на потоке проходит от конвейера 1 или 2 до конвейеров 5 или 6, а пуск электродвигателей начинается с 5-го или 6-го конвейера, что устраняет возможность завалов. Для их предотвращения в схеме предусмотрены блокировки, не допускающие включение электродвигателя предыдущего по технологическому потоку конвейера при неподвижном последующем.

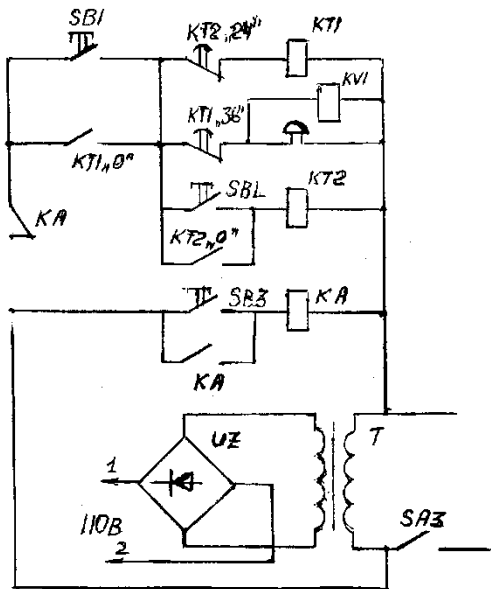


Рис.3.8

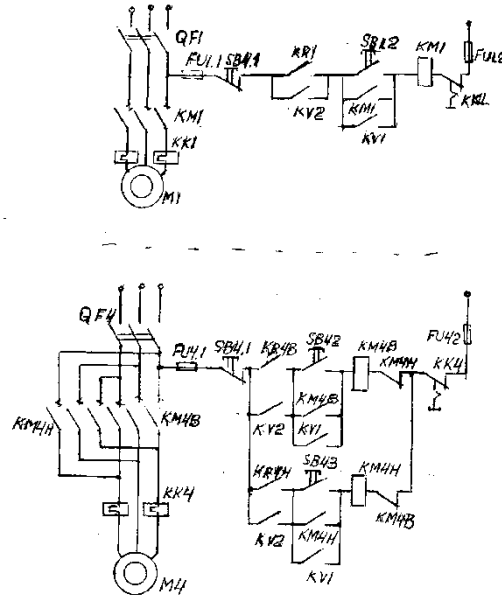


Рис.3.9

Схема в автоматическом режиме для первого потока работает в следующей последовательности:

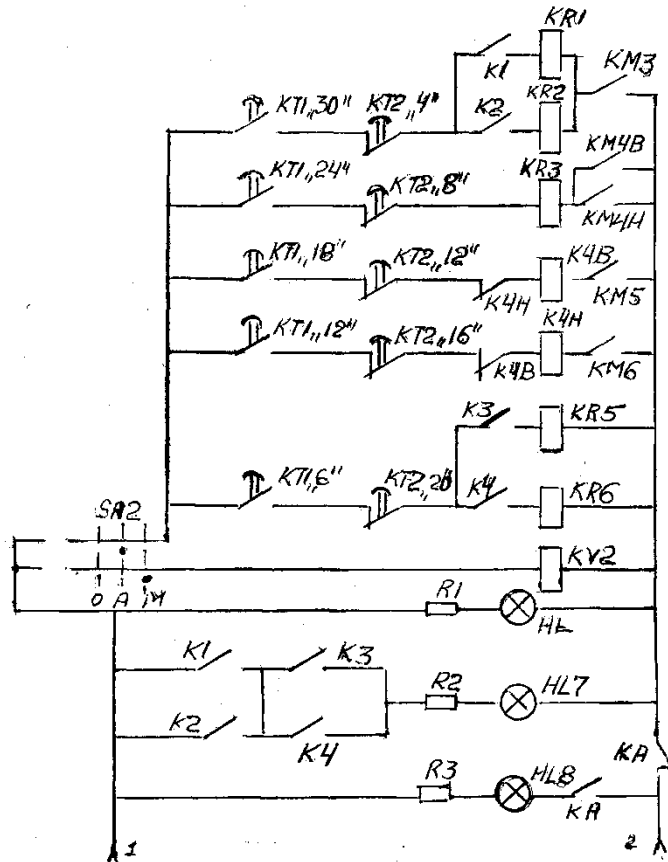


Рис. 3.10

1. включаются автоматические выключатели QF в силовой цепи каждого двигателя;
2. включается выключатель SA3, который подает питание в цепь управления. При этом загорается лампа HL (рис.3.10);
3. переключатель SA1 устанавливается в положение 1, что приводит к загоранию лампы HL7 (готовность к работе), а SA2 – в положение А;
4. для пуска ПТС нажимается кнопка SB1 (пуск), что приводит к включению реле времени KT1, через размыкающий контакт KT2 24, реле KV1, которое своими контактами шунтирует кнопки пуск SB1.2 ... SB6.2 (рис.3.9) в системе местного управления и звуковую сигнализацию. Реле времени KT1 имеет несколько

контактов, срабатывание которых сдвинуто по времени. При включении реле времени КТ1 замыкается контакт КТ1 0, который шунтирует кнопку SB1;

5. через 6 секунд включается контакт реле КТ1 6 и замыкается цепь катушки реле КR5, которое своими контактами включает магнитный пускатель КМ5, что приведет к включению двигателя 5-го конвейера. Одновременно на мнемосхеме загорится лампочка HL5 (рис.3.7). Магнитный пускатель своим блок-контактом подготовит к включению реле К4В;

6. через следующие 6 секунд замкнется контакт КТ1 12, включится реле КЧВ, что приведет к включению магнитного пускателя КМЧВ и пуску 4-го двигателя в направлении вперед и т.д.;

7. после включения магнитного пускателя КМ1 и пуска двигателя М1, через 6 секунд отключается звуковая сигнализация и отключается реле КV1 контактом КТ1 36, вследствие чего все магнитные пускатели встанут на самоблокировку.

Отключение ПТС при нажатии кнопки SB2 и включении реле КТ2 производится в обратном порядке. Время между отключением смежных двигателей – 4 секунды. Через 24 секунды разомкнется контакт КТ2 24, который отключает реле КТ1.

При аварийной остановке нажимается кнопка SB3 «аварийный стоп», которая включает реле КА, а оно в свою очередь отключает цепь управления и включает лампу HL8 «авария». При местном управлении переключатель SA2 ставится в положение М, в результате чего включается реле КV2, которое своими контактами шунтирует реле КR1...КR6, и включение каждого конвейера осуществляется кнопками SB1.2 ... SB6.2.

2.3. Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.

Конвейеры в зависимости от их назначения и области применения могут эксплуатироваться в самых разнообразных условиях и в том числе крайне неблагоприятных: на открытом воздухе, на высоте над уровнем моря, превышающей 1000 м (ленточные конвейеры горнодобывающих предприятий, высокогорные канатные дороги), а также в помещениях, содержащих пары активных веществ и характеризующихся повышенной влажностью, загрязненностью, высокой температурой окружающей среды (красильные и сушильные линии, термические цехи). Это определяет необходимость использования для данной группы механизмов электрооборудования, по типу и исполнению отвечающего перечисленным условиям, и выдвигает жесткие требования в отношении безопасности и простоты его обслуживания, надежности работы. Это в первую очередь относится к приводным двигателям, которые, как правило, должны иметь закрытое исполнение и обладать повышенным пусковым моментом.

Непрерывный, однонаправленный характер работы рассматриваемых механизмов определяет длительный режим работы их электроприводов, которые выполняются нереверсивными, за исключением редких случаев, где требуется изменение направления движения, например для эскалаторов. Конвейеры строго транспортного назначения имеют одну неизменную скорость движения и не требуют регулируемого электропривода. Для некоторых конвейеров, обслуживающих технологические процессы, например для сборочных конвейеров, красильных и сушильных линий и т. п., где при смене собираемого или обрабатываемого изделия требуется изменение скоростного режима, применяется регулируемый электропривод.

В современном поточном производстве работа нескольких конвейеров может объединяться общим производственным процессом. В этом случае движения отдельных конвейеров должны быть строго согласованы между собой по скорости. Такая задача возникает, например, когда различные изделия после необходимых технологических операций на отдельных конвейерных линиях должны встречаться на сборочном конвейере в точном позиционном соответствии друг с другом. К электроприводам таких конвейеров предъявляются требования согласованного вращения.

Важным общим требованием, предъявляемым к электроприводам механизмов непрерывного транспорта, является обеспечение плавности пуска и торможения с надежным ограничением ускорения и рывка, а также максимального момента двигателя и его производной. Для канатных и ленточных конвейеров большой протяженности это требование обусловлено наличием больших поступательно-движущихся масс, приведенный момент инерции которых может в 10—20 раз превышать момент инерции двигателей, и значительной податливостью тянущих канатов и транспортной ленты. Большие маховые массы установки увеличивают возможность пробуксовывания приводных барабанов и шкивов относительно лент и канатов при пуске. Резкое приложение момента при наличии упругих механических связей (см. § 6-3) вызывает механические

колебания при пуске, в результате чего в ленте или канате возникают дополнительные динамические усилия. Требование плавности пуска и замедления остается в силе и для установок с коротким тяговым элементом. В одних случаях ограничение ускорения и рывка до требуемых норм диктуется условиями транспортирования людей (эскалаторы, канатные дороги), в других случаях — условием надежного сцепления

транспортируемых изделий с лентой (ленточные конвейеры) или уменьшением раскачивания люлек и кабин (подвесные конвейеры).

Перечисленные требования определяют выбор системы электропривода для данной группы механизмов. Наиболее распространенным типом электропривода механизмов непрерывного транспорта является нерегулируемый привод переменного тока на основе асинхронных или синхронных двигателей. Для установок, где не возникает необходимость регулирования скорости движения и момента при пуске, находят применение асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с двойной беличьей клеткой или глубоким пазом, обладающие повышенным пусковым моментом при относительно неизменном его значении в процессе пуска и обеспечивающие меньший нагрев двигателя в условиях продолжительного пуска.

Мощность привода с асинхронным короткозамкнутым ротором ограничивается обычно несколькими сотнями киловатт. Использование двигателей большей мощности приводит к заметному снижению коэффициента мощности питающей сети, а также к существенному падению напряжения в сети при пуске конвейера. Применение синхронного двигателя для более мощных установок позволяет существенно повысить энергетические показатели привода. Однако установки такой мощности (например, крупные ленточные и канатные конвейеры) обладают большой механической инерционностью и характеризуются тяжелым продолжительным пуском, достигающим 30—100 с. Такой пуск может вызвать недопустимое превышение температуры синхронного двигателя, а также недопустимое снижение напряжения сети на относительно большом интервале времени разгона. Поэтому синхронные двигатели, несмотря на ряд их очевидных преимуществ, широкого распространения в качестве привода конвейерных установок не получили.

Проблема пуска мощных конвейеров успешно решается применением асинхронного двигателя с фазным ротором, при котором достигается ограничение пусковых токов и обеспечивается формирование требуемой пусковой характеристики привода (рис. 6-14). Предварительные ступени 1п и 2п ограничивают ускорение двигателя в режиме выбора зазоров и в начале процесса пуска конвейера.

Переключение ступеней пусковых сопротивлений в процессе разгона двигателя вызывают скачкообразные изменения его момента в тем больших пределах, чем меньше число ступеней. Это может явиться причиной возникновения упругих механических колебаний и нарушить плавность переходных процессов.

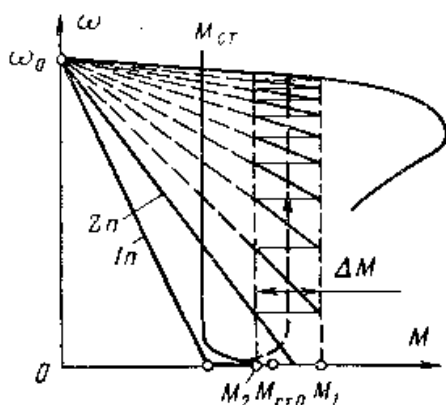


Рис. 6-14. Формирование процесса пуска конвейера с помощью дополнительных сопротивлений в роторной цепи асинхронного двигателя.

Поэтому при реостатном способе управления двигателем плавность пуска обеспечивается только за счет увеличения числа пусковых ступеней, снижающего величину $\Delta M = M_x - M_2$ (рис. 6-14). Это вынуждает использовать громоздкие релейно-контакторные панели с большим количеством тяжелой коммутирующей аппаратуры.

Указанного недостатка лишена схема управления асинхронным электродвигателем с тиристорным коммутатором в роторной цепи (рис. 6-15, а), которая в переходных процессах обеспечивает практически идеальное поддержание тока ротора и момента двигателя на постоянном уровне, определяемом задающим напряжением ихт. Работа схемы построена на широтно-импульсном способе регулирования дополнительного сопротивления R_a роторной цепи. Тиристор 77 выполняет функцию ключа, попеременное включение и отключение которого изменяет эквивалентное дополнительное сопротивление роторной цепи в пределах от нуля, когда ключ замкнут, до значения K_d при разомкнутом ключе. Этим предельным значением эквивалентного сопротивления соответствуют механические характеристики 1 и 2 на рис. 6-15, б.

Управление тиристорным ключом осуществляется релейным регулятором тока РТ в функции выпрямленного тока ротора $I_{fг}$. При $A < t = \text{й}3,г - \text{й}0 > t > 0$ регулятор тока подает управляющий импульс на тиристор Т1. Тиристор Т1, открываясь,

шунтирует сопротивление R_a , что вызывает возрастание тока I_d . При этом через открывшийся тиристор Т1 происходит заряд конденсатора С от источника питания И П. Когда разность $A_{ит}$ становится меньше нуля, регулятор тока подает управляющий импульс на тиристор Т2, который, открываясь, создает разрядный контур для конденсатора С. Под действием разрядного тока конденсатора С тиристор Т1 запирается, а конденсатор С продолжает перезаряжаться от напряжения роторной цепи. По окончании процесса перезаряда тиристор Т2 запирается. Введенное сопротивление Y_d снижает ток I_d , и при $A_{ит} > 0$ вновь открывается тиристор Т1. При этом образуется колебательный контур С — L1, способствующий быстрому перезаряду конденсатора.

Благодаря диоду Д2, включенному в этот колебательный контур, процесс перезаряда заканчивается, как только ток конденсатора снизится до нуля, и конденсатор остается заряженным со знаком «+» на нижней обкладке.

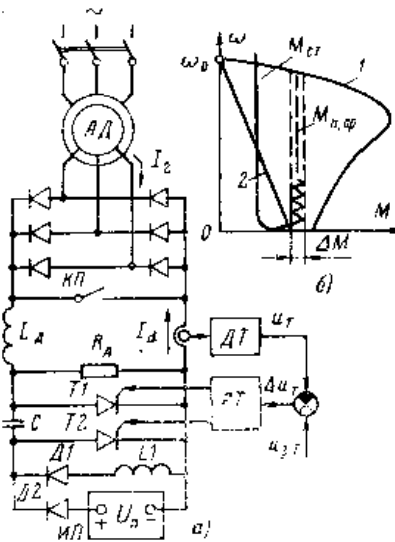


Рис. 6-15. Схема (а) и механические характеристики (б) асинхронного электропривода с тиристорным коммутатором.

Если теперь при снижении тока I_d разность $A_{ит}$ снова станет больше нуля, вновь будет открыт тиристор Т2 и процесс повторится.

Включенный в цепь выпрямленного тока ротора реактор Бв снижает пульсации выпрямленного тока и момента и обеспечивает на начальном участке пуска плавное его нарастание (рис. 6-15, б).

В электроприводе конвейерных установок, предъявляющих повышенные требования к плавности пуска, находит применение система, в которой движение от нерегулируемого синхронного или асинхронного с короткозамкнутым ротором двигателя передается на механизм через регулирующую гидравлическую, порошковую или электромагнитную муфту. Схема электропривода с электромагнитной муфтой скольжения и его механические характеристики представлены на рис. 6-16, а, б. Передаваемый муфтой момент определяется ее магнитным потоком или током возбуждения I_B , соответствующее регулирование которого в функции скорости обеспечивает требуемое значение момента при пуске. К достоинствам данной системы следует также отнести: простоту и надежность электропривода; облегченный пуск двигателя, осуществляемый при невозбужденной муфте; возможность плавного изменения жесткости механической характеристики, благодаря чему сравнительно

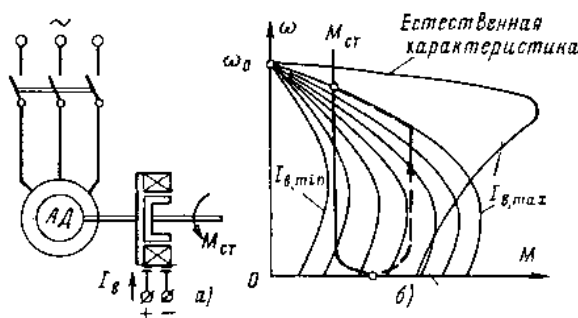


Рис. 6-16. Схема (а) и механические характеристики (б) асинхронного электропривода с электромагнитной муфтой скольжения.

Просто обеспечивается равномерное распределение нагрузки между двигателями в многодвигательных электроприводах. Недостатками системы являются повышенные потери скольжения в муфте и увеличенные габариты привода, так как установленная мощность муфты равна мощности приводного двигателя.

Для конвейеров, где по условиям технологического процесса требуется длительный режим работы привода на низких скоростях, перспективна система тиристорный преобразователь частоты — асинхронный двигатель, в которой может осуществляться регулирование как скорости, так и ускорения.

Проблема согласованного движения конвейеров, входящих в единый производственный комплекс, успешно решается с помощью электропривода, выполненного по системе электрического вала. Практическое применение получил вариант синхронного вращения двигателей с общим асинхронным преобразователем частоты, показанный на рис. 6-17 применительно к двум синхронизированным конвейерным линиям. Схема

обеспечивает синхронное вращение двигателей Д1 и Д2 не только в установившемся режиме, но и в процессе пуска [2, 4]. Угловое рассогласование двигателей определяется разностью моментов сопротивления на их валах. Для получения меньших

Углов рассогласования двигатели включены на вращения против поля. Согласованное регулирование скорости конвейеров осуществляется, изменением скорости преобразователя частоты ПЧ либо путем переключения ступеней добавочного сопротивления в роторной цепи двигателя АД, вращающего преобразователь частоты, либо изменением передаточного отношения редуктора Р между двигателем АД и ПЧ.

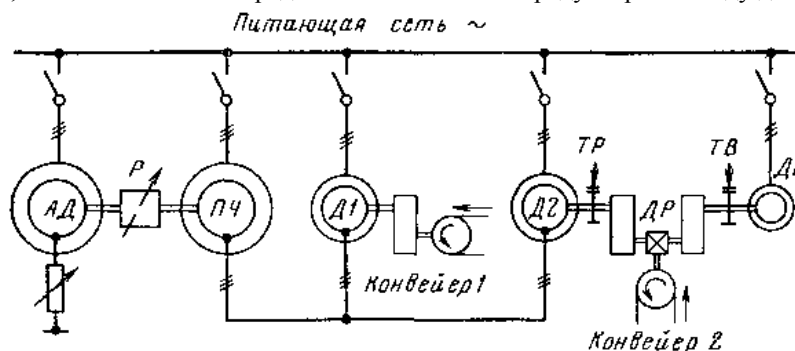


Рис. 6-17. Схема электропривода с асинхронным преобразователем частоты для согласованного движения конвейеров.

Синхронное вращение двигателей еще не обеспечивает строгого взаимного согласования положения транспортируемых разными конвейерами изделий, так как в процессе эксплуатации происходит вытяжка тягового элемента, неодинаковая для различных конвейеров. Это приводит к рассогласованию взаимного положения изделий, для устранения которого привод конвейера снабжен вспомогательным двигателем ДВ (рис.

6-17), соединенным с основным рабочим двигателем Д2 через дифференциальный редуктор ДР. При отставании или опережении второй конвейерной линии двигатель ДВ освобождается от механического тормоза ТВ и включается на некоторое время, в результате чего происходит увеличение или уменьшение скорости конвейера и восстанавливается взаимное согласованное положение транспортируемых двумя конвейерами изделий. Мощность вспомогательного двигателя из-за малой его скорости незначительна и составляет 5—10% мощности рабочего двигателя. Вспомогательный привод может использоваться и самостоятельно в режиме малой скорости конвейера. При этом рабочий двигатель отключается от сети и затормаживается тормозом ТР.

Рассмотренная схема электропривода достаточно проста и надежна. Однако повышенная общая установленная мощность привода, превышающая примерно в 4 раза установленную мощность рабочих двигателей и повышенные потери электроэнергии, ограничивают область ее рационального применения установками небольшой мощности.

При высоких требованиях к точности согласованного движения конвейеров задача успешно решается использованием системы управляемый тиристорный преобразователь — двигатель постоянного тока, в которой строгое согласование движения достигается работой электроприводов в следящем режиме. Однако такая система электропривода оказывается гораздо сложнее, чем рассмотренная выше.

2.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.

Наиболее характерными видами турбомеханизмов являются механизмы центробежного типа, предназначенные для транспортировки жидкости — насосы, газа — вентиляторы, сжатого воздуха — турбокомпрессоры. К механизмам этого же класса относятся осевые вентиляторы и насосы.

Работу центробежных механизмов рассмотрим на примере центробежного насоса, который состоит из рабочего колеса с лопатками и корпуса спиральной формы. При вращении рабочего колеса жидкость увлекается лопатками и под действием центробежной силы и силы кориолиса движется от центра колеса к его периферии вдоль лопаток, затем подается через спиральную камеру в нагнетательную трубу. При этом в центре корпуса создается разрежение, под действием которого вода через всасывающую трубу подается в насос. Частицы жидкости участвуют в двух движениях: вращательном вместе с колесом, приобретая окружную скорость, и линейном вдоль лопаток, приобретая относительную линейную скорость.

Мощность, развиваемая насосом или вентилятором, определяется из выражения для энергии, сообщаемой движущейся жидкости (газу) в единицу времени

$$A = \frac{mV^2}{2}, \quad (3.3)$$

где: $m = S \cdot V \cdot \rho$ - масса жидкости, проходящая через нагнетательную трубу, кг/с; V - скорость жидкости, м/с; S - поперечное сечение нагнетательного трубопровода, м²; ρ - плотность жидкости, кг/м³.

Подставляя значение массы в уравнение (3.2) получим, что мощность

$$P = \frac{S \cdot \rho \cdot V^3}{2} 10^{-3} \text{ кВт.} \quad (3.4)$$

Если учесть, что $SV=Q$ – подача насоса м³/с, $\frac{\rho V^2}{2} = H$ - напор (удельное давление), Н/м² (Па), то мощность и момент на валу двигателя определяются из выражения:

$$P = \frac{QH}{\eta}, \quad M = \frac{P}{\omega}, \quad (3.5)$$

где: ω - скорость двигателя, с⁻¹; η - кпд насоса, включающий гидравлический кпд $\eta_c=(0,8...0,96)$ и объемный $\eta_o=(0,96...0,98)$.

Принимая, что скорость движения жидкости $V=\omega R$, где: R – радиус колеса

$$\frac{Q}{Q_n} = \frac{\omega}{\omega_n}, \quad \frac{H}{H_n} = \frac{\omega^2}{\omega_n^2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{Q_1^2}{Q_2^2} = \text{const.} \quad (3.6)$$

Зависимости момента и мощности на основании (3.5) и (3.6) выражаются соотношениями:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}, \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_1^3}{\omega_2^3} \quad (3.7)$$

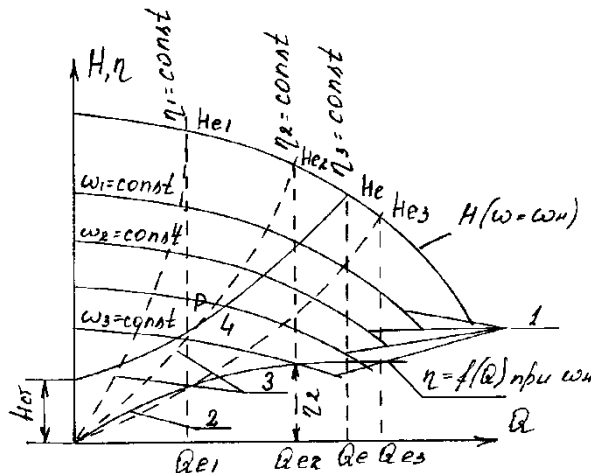


Рис.3.11. Q-H-характеристики механизмов центробежного типа

Эксплуатационные свойства механизмов центробежного типа определяются Q - H -характеристикой и зависимостью механической мощности и кпд от подачи при $\omega=const$. Расчет указанных характеристик представляет трудности, поэтому на практике пользуются типовыми зависимостями $H=f(Q)$ и $\eta=f(Q)$, $P=f(Q)$, которые приводятся в каталогах для насосов при неизменной номинальной скорости ω_n (рис.3.11) Q - H -характеристики для скорости, отличной от номинальной, получают с помощью уравнений пропорциональности (3.6), (3.7).

Для этого задается ряд значений Q_e , которым соответствует значение H_e исходной естественной характеристики с $\omega_n=const$. В соответствии с (3.6) рассчитывают параболы $H = H_e \left(\frac{Q}{Q_e} \right)^2$, проходящие через выбранные точки (H_{e1}, H_{e2}, H_{e3}) на исходной характеристике. Каждой точке параболы согласно (3.6) соответствует определенная скорость механизма $\omega = \omega_n \frac{Q}{Q_e}$. Соединяя точки парабол с одинаковым значением ω , определяют Q - H -характеристику для $\omega=const$. Так как уравнения пропорциональности получены в предположении постоянства η_c и η_o , то указанные параболы (кривые 3) оказываются линиями постоянного кпд механизма.

Установившийся режим работы насоса при постоянной скорости определяется графическим или аналитическим способами. При графическом - установившийся режим определяется точкой пересечения соответствующей Q - H -характеристики турбомеханизма и характеристики магистрали, подключенной к насосу.

$$H = H_{cm} + R \cdot Q^2, \quad (3.8)$$

где: $H_{cm}=H_{вс}+H_{наг}$ - сумма высот всасывания и нагнетания. Если насос находится ниже уровня всасывания, $H_{cm}=H_{наг}-H_{вс}$. При отсутствии статического напора характеристика трубопровода имеет вид кривых 3 (рис.3.11).

Если скорость расчетной точки отличается от номинальной, то соответствующее этой скорости значение КПД определяется следующим образом. Через расчетную точку (например P на рис.3.11) проводится парабола до пересечения с номинальной Q - H -характеристикой. Точка пересечения дает значение Q_{e2} , которое определяет по кривой $\eta=f(Q)$ значение КПД.

При аналитических расчетах Q - H -характеристику описывают эмпирической формулой.

$$H = H_0 - CQ^2, \text{ или } H = A\omega^2 - CQ^2, \quad (3.9)$$

где значения H_0 (или A) и C определяют по двум точкам известной Q - H -характеристики. Одну точку целесообразно брать в начале кривой (при $Q=0$), а вторую в рабочей зоне. Тогда в первой точке $H=H_0$, а во второй $C = \frac{H_0 - H}{Q^2}$. Значение A определяется из формулы $A = \frac{H_0}{\omega_n^2}$. КПД при скоростях, не равных ω_n , определяют из следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} Q_u &= Q_1 \frac{\omega_n}{\omega}, \\ \eta_u &= \frac{Q_u - Q_{eA}}{Q_A - Q_{eB}} \eta_A + \frac{Q_u - Q_A}{Q_B - Q_A} \eta_B \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

где: Q_u и η_u - производительность и КПД при номинальной скорости; Q_A, Q_B, η_A, η_B - производительность и КПД в начале и конце заданного отрезка.

Более точные формулы для определения Q, H, P и η , особенно для вентиляторов, предложены в [22]

$$\left. \begin{aligned} H &= A\omega^2 + B\omega Q + CQ^2 \\ P_{\text{мех}} &= A_1 \cdot \omega^2 Q - B_1 \cdot \omega Q^2 + D_1 \cdot \omega^3 \\ \eta &= \frac{H \cdot Q}{P_{\text{мех}}} \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Здесь для определения коэффициентов A, B, C, A_1, B_1, D_1 необходимо составлять три уравнения по известным Q - H и $P_{\text{мех}}$ - Q -характеристикам.

Структурная гидромеханическая схема насосной установки с магистралью протяженностью до 100м представлена на рис.3.12. Здесь жидкость принята несжимаемой. При более длинных магистралях необходимо учитывать упругость жидкости и трубопроводов.

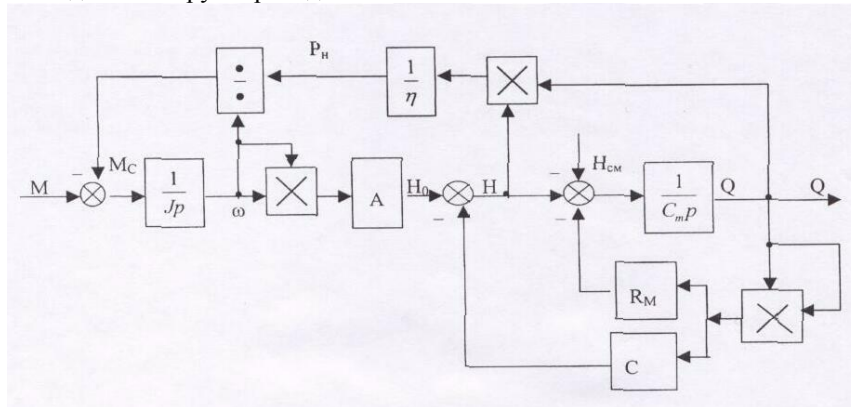


Рис.3.12. Структурная гидромеханическая схема насосной установки

Структурная схема составлена на основе системы уравнений без учета динамической составляющей

$$\begin{aligned} H_{\text{дин}} &= \frac{\rho V^2}{2}; \\ H &= A\omega^2 - CQ^2; \\ H &= H_{\text{cm}} + R_M Q^2 + \frac{\rho V^2}{2} + H_{\text{дин}}. \\ Q &= VS; \\ M_c &= \frac{HQ}{\omega \eta}. \end{aligned} \quad (3.12)$$

где: $H_{\text{дин}} = \frac{\rho l}{S} \cdot \frac{dQ}{dt} = C_m \frac{dQ}{dt}$ - инерционная составляющая давления; R_M - сопротивление магистрали; l - длина трубопровода.

2.5. Основные требования, предъявляемые к электроприводам механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.

Ранее считалось, что электроприводы турбомеханизмов не требуют регулирования скорости. Однако практика показала, что для оптимизации рабочего процесса (дутьевые вентиляторы, дымососы, сетевые насосы электростанций и ТЭЦ и т.д.) систем водоснабжения и канализации, шахтных вентиляторов и других механизмов целесообразно применять регулируемые электроприводы, что дает значительную (до 30%) экономию электроэнергии.

К нерегулируемым механизмам можно отнести только вентиляторы и насосы небольшой мощности. Поэтому в настоящее время одним из основных требований является регулирование скорости электропривода в диапазоне, как правило, не более 2:1. Применение регулируемого электропривода наиболее эффективно при условии автоматического поддержания технологических параметров (расхода, давления и пр.), что требует применения соответствующих систем автоматического регулирования.

Расчет мощности двигателей турбомеханизмов

Расчет мощности привода наиболее удобно осуществлять на основе универсальных Q - H -характеристик механизма и характеристик трубопровода, по точкам пересечения которых можно судить о производительности, напоре, скорости вращения и КПД в разных условиях эксплуатации.

Для насосов напор обычно измеряют в метрах водяного столба, а мощность определяется из выражения

$$P = \frac{HQ\rho g}{\eta_{нас}} 10^{-3} \quad (3.13)$$

Мощность вентилятора, где напор H измеряется в Паскалях, а Q в $\text{м}^3/\text{с}$, чаще определяют по формуле:

$$P = \frac{H \cdot Q \cdot 10^{-3}}{\eta_{вент}}, \text{ кВт} \quad (3.14)$$

По расчетной мощности выбирают электродвигатель из условия $P_{дв.н} \geq K_3 P$, где: $K_3=1,05 \dots 1,15$ – коэффициент запаса.

Пусковые моменты центробежных насосов и вентиляторов, как правило, составляют 30...35% от номинального, поэтому проверки достаточности пускового момента не требуется.

Для привода вентиляторов, имеющих очень большие моменты инерции рабочего колеса, необходима проверка на нагрев ротора асинхронного или синхронного двигателя при пуске.

Способы регулирования производительности турбомеханизмов и выбор типа электропривода

Турбомеханизмы являются наиболее многочисленным классом рабочих машин, получивших широкое применение во всех отраслях промышленности, энергетике, коммунальном хозяйстве и других областях. Часть механизмов не требует по технологическим условиям регулирования производительности, а часть требует.

Регулирование производительности турбомеханизмов возможно рядом способов:

1. Дросселированием в напорной магистрали.
2. Рециркуляцией (перепуском части потока с нагнетания на всасывание).
3. Изменением скорости вращения рабочего колеса.
4. Поворотом направляющих лопаток на входе рабочего колеса.
5. Изменением числа работающих агрегатов.

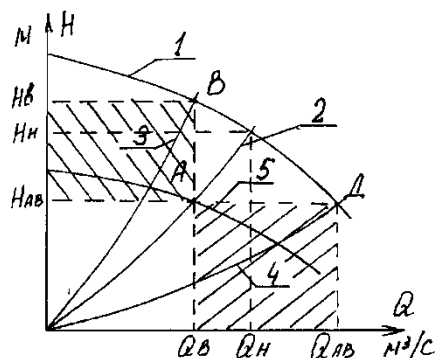


Рис.3.13. Сравнительные характеристики способов регулирования подачи

Проведем сравнительный анализ этих способов регулирования. Сравнительные характеристики первых трех способов регулирования приведены на рис.3.13, на котором представлена исходная Q - H -характеристика 1 с расходом Q_n и давлением H_n и характеристика магистрали 2. Если нужно получить расход Q_e при регулировании дросселированием частично закрывается задвижка, тем самым изменяется характеристика магистрали (кривая 3). При этом полезная мощность определится площадью четырехугольника $OH_{Ae}AQ_e$ ($P_{пол} = \frac{Q_e H_{Ae}}{\eta_e}$), а мощность, развиваемая насосом, будет равна площади $OH_e BQ_e$ и составит $P = \frac{H_e Q_e}{\eta_e}$.

Потери мощности при регулировании составляют $\Delta P = (H_e - H_{Ae}) \frac{Q_e}{\eta_e}$ и им будет соответствовать площадь

$H_{Ae} H_e B A$. При регулировании подачи рециркуляцией часть жидкости подается на вход насоса, тем самым, изменяя характеристику магистрали для насоса (кривая 4). Развиваемая насосом мощность определится по формуле: $P = \frac{Q_{Ae} H_{Ae}}{\eta_{Ae}}$, а потери $\Delta P = \frac{(Q_{Ae} - Q_e) H_{Ae}}{\eta_{Ae}}$. Потерям энергии будет соответствовать площадь $Q_e A D Q_{Ae}$.

При регулировании подачи изменением скорости вращения полезная мощность равняется мощности, развиваемой насосом – площадь $OH_{Ae} AQ_e$. Отсюда следует, что самым неэкономичным способом является способ регулирования рециркуляцией, почти такие же потери будут при регулировании дросселированием. Наиболее экономичным способом является изменение расхода посредством регулирования скорости вращения. Необходимо отметить, что при регулировании подачи изменением скорости, в отличие от других способов кпд насоса (вентилятора) практически не изменяется.

Регулирование подачи изменением положения направляющих лопаток немного экономичнее, чем дросселированием, но имеет большие потери, чем при регулировании изменением скорости вращения.

Регулирование расхода изменением числа работающих агрегатов рассмотрим на примере двухнасосной станции (рис.3.14).

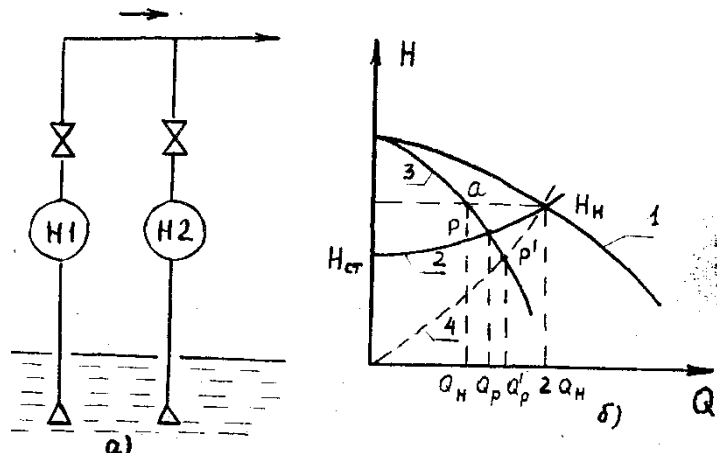


Рис.3.14. Схема (а) и Q - H -характеристика (б) при параллельной работе насосов

При параллельной работе насосов H_1 и H_2 их совместная подача определяется суммарной Q - H -характеристикой и характеристикой магистрали (кривые 1 и 2 на рис.3.14). Предположим, что каждый из насосов работает в номинальном режиме с Q_n и H_n , так что суммарная производительность насосов составляет $2Q_n$. При отключении одного из насосов режим оставшегося в работе насоса изменяется в соответствии с его Q - H -характеристикой 3 (от точки «а» до точки P или P'). При этом его подача, определяемая точкой пересечения характеристики одного насоса с характеристикой гидравлической сети, уменьшится от Q_n до Q_p . Таким образом, при отключении одного насоса подача снижается менее чем в 2 раза. Чем меньше статический напор $H_{ст}$, тем в меньшей степени снижается подача, тем менее эффективен данный способ регулирования. Следует обратить внимание на то, что оставшийся в работе двигатель оказывается перегруженным по сравнению с его номинальным режимом при совместной работе. Мощность на валу двигателя возрастает в отношении $\frac{P_p}{P_n} = \frac{H_p Q_p}{H_n Q_n}$. Поэтому при использовании данного способа регулирования необходимо предусматривать

определенный запас по мощности двигателей. Достоинством данного способа является экономичность, поскольку отсутствуют дополнительные потери при регулировании подачи, а недостатком – невозможность плавного регулирования подачи.

Если не требуется регулирование скорости вращения для насосов и вентиляторов при мощности до 250кВт обычно используются асинхронные короткозамкнутые двигатели; при мощности свыше 250кВт применяют как асинхронные, так и синхронные двигатели.

В качестве регулируемого электропривода для турбомеханизмов используются:

- частотно регулируемый асинхронный привод (ПЧ-АД) – для механизмов мощностью до 1000кВт ограничение верхнего предела мощности связано с желанием использовать преобразователь частоты на напряжение не выше 1000В;

- вентильный двигатель на базе высоковольтной синхронной машины; эта система привода применяется для механизмов большой мощности;

- асинхронный вентильный каскад (АВК); данная система регулируемого электропривода удобна для турбомеханизмов, поскольку требуемый для них диапазон регулирования скорости весьма мал и обычно не превышает 2:1; АВК используется для турбомеханизмов мощностью свыше 250кВт с номинальной скоростью вращения не выше 1500об/мин; это ограничение связано со сложностью изготовления асинхронного двигателя с фазным ротором на большие скорости вращения;

- система ТРН-АД с регулятором напряжения на статоре асинхронного короткозамкнутого двигателя; эта наиболее простая система находит ограниченное применение для приводов мощностью не выше 15кВт, и при диапазоне регулирования не более 1,5, что связано с большими потерями в роторе двигателя при работе с повышенным скольжением.

Опыт применения регулируемых электроприводов на насосных станциях в системах холодного и горячего водоснабжения показал высокую энергетическую эффективность, благодаря чему достигается значительная экономия электроэнергии. Срок окупаемости дополнительных затрат на установку регулируемого электропривода не превышает 1,5 года [23].

Автоматизация турбомеханизмов

При использовании нерегулируемых приводов используется автоматический пуск и остановка механизма с целью поддержания определенных заданных параметров, например, уровня воды в баке при работе насоса на водонапорную башню.

При использовании регулируемых приводов решается задача поддержания определенного значения технологического параметра, например, напора или расхода при изменяющихся параметрах гидравлической сети, изменение расхода жидкости или газа с целью оптимизации технологического процесса.

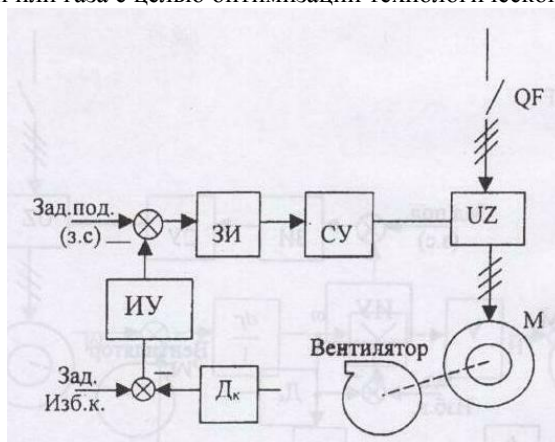


Рис.3.15. Функциональная схема электропривода дутьевого вентилятора по системе ПЧ-АД.

Схема автоматизации первого вида приведена в [12]. В качестве примера второго вида автоматизации рассмотрим схему автоматического управления электроприводом дутьевого вентилятора энергетического котла, работающего на газе.

Функциональная схема электропривода дутьевого вентилятора по системе ПЧ-АД приведена на рис.3.15.

Привод состоит из преобразователя частоты UZ, асинхронного короткозамкнутого электродвигателя М, системы управления СУ, в которую входит задатчик интенсивности, интегральный операционный усилитель ИУ и датчик содержания кислорода ДК в отходящих газах.

Отличительной особенностью схемы является то, что она не замкнута по скорости, а имеет отрицательную обратную связь по технологическому параметру, в данном случае по содержанию избыточного кислорода. Так как требуемое количество воздуха для оптимального горения газа зависит от многих факторов (подача газа, химического состава газа, количества кислорода в воздухе), то управление скоростью осуществляется по двум каналам. Основное задание на скорость двигателя дутьевого вентилятора подается в зависимости от подачи газа, а корректировка скорости (т.е. подачи воздуха) с помощью отрицательной обратной связи по избыточному кислороду.

Для моделирования электромеханической системы с целью определения параметров регуляторов может быть использована структурная схема рис.3.16.

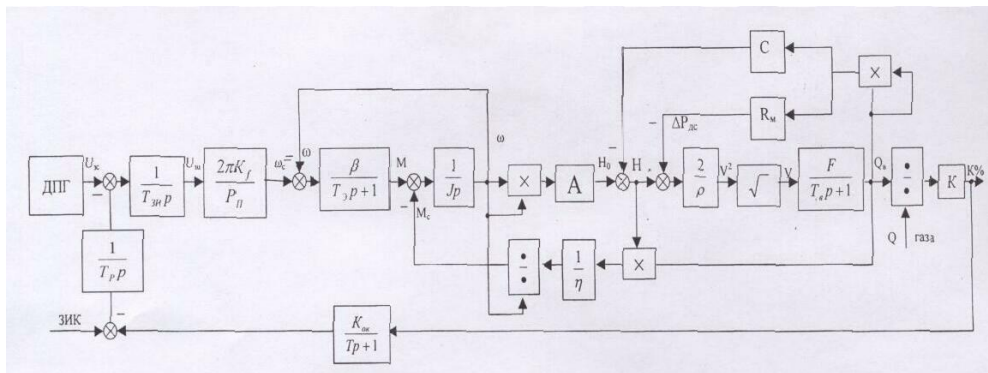


Рис. Структурная схема электромеханической системы вентилятора с автоматизацией технологического процесса

Структурная схема состоит из упрощенной схемы электродвигателя с преобразователем частоты, структурной схемы вентилятора и воздушного тракта, обратной связи по избытку кислорода. Задание на подачу воздуха Q_0 подается в зависимости от подачи газа. Возмущающим воздействием является изменение состава отходящих газов. Реакция горения обозначена пропорциональным звеном, на выходе которого определяется избыточное количество кислорода. Замер и передача информации о количественном содержании кислорода подается с запаздыванием на 20-30 мин и может быть представлена апериодическим звеном. Разница между напряжением, пропорциональным заданному значению избыточного кислорода, и фактическим значением через И-регулятор подается для коррекции подачи воздуха. При регулировании скорости в функции одной переменной, как правило, выбирается ПИД- или ПИ-регулятор.

2.6. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.

Нагрузка электроприводов механизмов непрерывного действия может носить детерминированный или случайный характер. К механизмам с детерминированной нагрузкой относятся поршневые компрессоры и насосы, прессы, ковочные машины и т.д. Случайный характер нагрузки имеют шаровые мельницы, камнедробилки и другие подобные машины.

Здесь будут рассмотрены электроприводы с детерминированной переменной нагрузкой позиционного (насосы, компрессоры) и ударного (прессы, ковочные машины) типов. Под нагрузкой позиционного типа будем понимать нагрузку на валу двигателя, зависящую от угла поворота кривошипа. Общее у них – наличие кривошипно-шатунного механизма. Отличительной чертой является характер и периодичность приложения нагрузки.

Электропривод механизмов с нагрузкой позиционного типа

Механизмами позиционного типа являются поршневые компрессоры, насосы (рис.3.17а). Они состоят из цилиндра 1, в котором движется поршень 2, приводимый в действие кривошипно-шатунным механизмом 3. На другом конце цилиндра размещены всасывающий 4 и нагнетательный 5 клапаны.

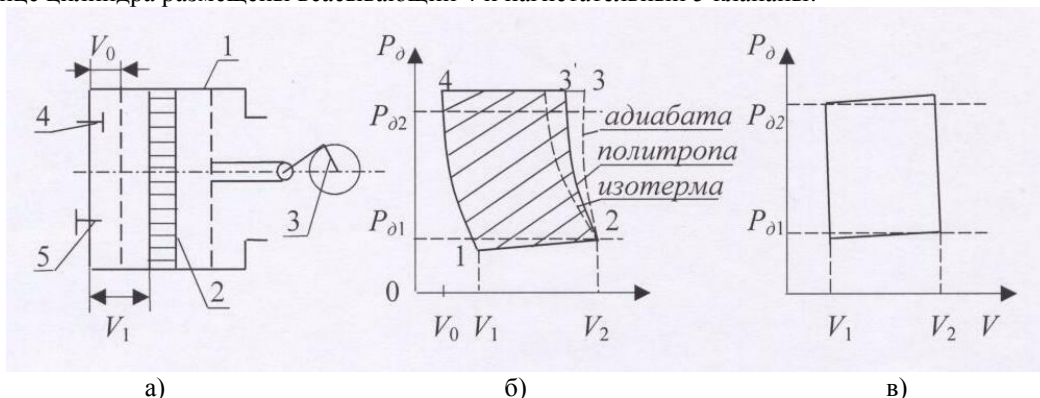


Рис.3.17. Механизмы позиционного типа: а – схема действия, б – индикаторная диаграмма компрессора, в – индикаторная диаграмма поршневого насоса

Мощность поршневых компрессоров, насосов определяется по так называемой индикаторной диаграмме, под которой понимается зависимость давления P_{∂} от объема под поршнем V . На рис.3.17б показана индикаторная диаграмма для одноступенчатого компрессора. На участке 4-1 при перемещении поршня вправо происходит расширение оставшегося в мертвом пространстве V_0 газа, давление которого снижается с уровня

$P_{\partial 2}$ до уровня $P_{\partial 1}$. В точке 1' открывается всасывающий клапан 4 (рис.3.17а), и при дальнейшем увеличении объема от V_1 до V_2 происходит всасывание газа при давлении, несколько меньшем $P_{\partial 1}$, вследствие потерь на прохождение газа через всасывающий канал. В точке 2 поршень начинает двигаться влево, всасывающий клапан закрывается, и начинается такт сжатия (участок 2-3), который сопровождается выделением теплоты. Часть выделившейся теплоты отводится в систему охлаждения компрессора, поэтому процесс сжатия газа является политропическим, промежуточным между изотермическим (сжатие при постоянной температуре) и адиабатическим (тепло не отводится в окружающую среду) процессами. В точке 3' открывается нагнетающий клапан 5, соединяющий цилиндр с ресивером-аккумулятором сжатого до давления $P_{\partial 2}$ газа. Происходит выталкивание газа с давлением, несколько большим $P_{\partial 2}$, что обусловлено сопротивлением движения газа через нагнетательный клапан и патрубок. В точке 4 цикл заканчивается.

Площадь, ограниченная индикаторной диаграммой, характеризует работу $A_{инд}$ за цикл. Удельная работа за цикл

$$A_{y\partial} = \frac{A_{инд}}{V_2 - V_1} = \frac{A_{инд}}{V_p} = P_{\partial,инд}, \text{ Дж/м}^3$$

где: $V_p = V_2 - V_1$ - объем газа, всасываемого за цикл при давлении $P_{\partial} = P_{\partial 1}$; $P_{\partial,инд}$ - среднее индикаторное давление за цикл.

Средняя за цикл мощность определяется выражением:

$$A = \frac{P_{\partial,инд} \cdot Q}{\eta_k} \cdot 10^{-3} = \frac{A_{y\partial} \cdot Q}{\eta_k} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (3.15)$$

где: Q - подача компрессора, м³/с, приведенная к давлению $P_{\partial} = P_{\partial 1}$; η_k - индикаторный КПД компрессора, учитывающий потери мощности при реальном процессе сжатия газа, равный 0,6...0,8.

Так как теоретическая индикаторная диаграмма существенно отличается от действительной, а получение последней не всегда возможно, то при определении мощности на валу компрессора часто пользуются приближенной формулой, где исходными данными является удельная работа изотермического и адиабатического сжатия.

$$P_{\partial \partial} = \frac{Q \cdot K_3}{\eta_k \cdot \eta_m} \cdot \frac{A_u + A_a}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (3.16)$$

где: A_u, A_a - изотермическая и адиабатическая работа сжатия 1м³ атмосферного воздуха давлением $P_{\partial 1} = 1,01 \cdot 10^5$ Па до требуемого $P_{\partial 2}$, Дж/ м³; η_m - КПД механической передачи; K_3 - коэффициент запаса, учитывающий неподдающиеся расчету факторы, равный 1,05...1,15.

Значения $A_{y\partial} = \frac{A_u + A_a}{2}$ в зависимости от $P_{\partial 2}$ приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

$P_{\partial 2} \cdot 10^5, \text{ Па}$	3	4	5	6	7	8	9	10
$A_{y\partial} \cdot 10^3, \text{ Дж/м}^3$	132	164	190	213	230	245	260	272

Поршневой насос перекачивает жидкость, которая практически не сжимается, поэтому его индикаторная диаграмма имеет вид, показанный на рис.3.17в.

Мощность на валу двигателя определяется по формуле:

$$P_{\partial \partial} = \frac{K_3 Q \rho g (H_{ст} + \Delta H)}{\eta_n \eta_n \cdot 10^3}, \quad (3.17)$$

где: Q - производительность насоса, м³/с; $H_{ст}$ - статический напор, определяемый как сумма высот всасывания $h_в$ и нагнетания $h_н$, м; ΔH - потеря напора в трубопроводах насосной установки, м; η_n - КПД насоса, равный 0,7-0,9; η_n - КПД передачи; $K_3 = 1,1 \dots 1,3$ - коэффициент запаса.

Средняя мощность и момент на валу механизма поршневого типа при постоянном напоре H связаны со скоростью вращения ω зависимостями:

$$P_{cp} = \frac{P_{\partial} Q}{\eta} = \frac{P_{\partial} F S_n n_n}{60 \eta} = c \omega; \quad (3.18)$$

$$M = \frac{P_{cp}}{\omega} = c = const,$$

где: F (м²) и S (м) - площадь и величина хода поршня, т.е. средняя величина момента не зависит от скорости. Мгновенные значения момента (а, следовательно, и мощности) зависят от положения поршня и кривошипно-шатунного механизма, как это следует из уравнений (1.6, 1.7).

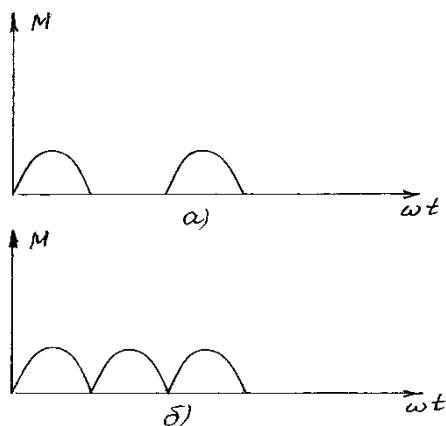


Рис.3.18. Изменение момента на валу компрессора а – одинарного; б – двойного действия

При отношении радиуса кривошипа к длине шатуна $>1/4$ можно в первом приближении принять $M_{кр} = F_1 R \sin \alpha$, т.е. момент носит синусоидальный характер. Изменение момента в течение цикла работы механизма одинарного действия представлено на рис.3.18а, а двойного действия – на рис.3.18б. У кривошипных механизмов одинарного действия подача осуществляется только при движении поршня вперед, при обратном ходе подача отсутствует. Механизмы двойного действия осуществляют подачу при движении в обе стороны.

Кривошипно-шатунные механизмы характеризуются неравномерностью нагрузки. Для выравнивания нагрузки на валу таких механизмов устанавливают маховик.

Регулирование подачи поршневого компрессора (насоса) может осуществляться:

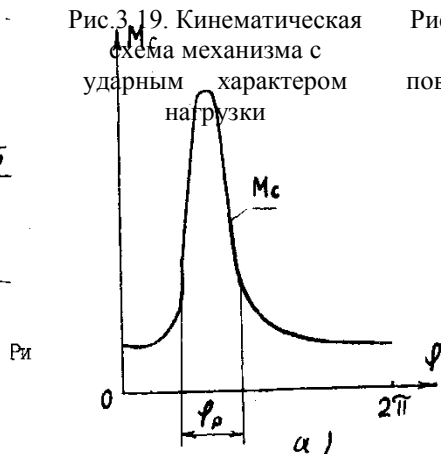
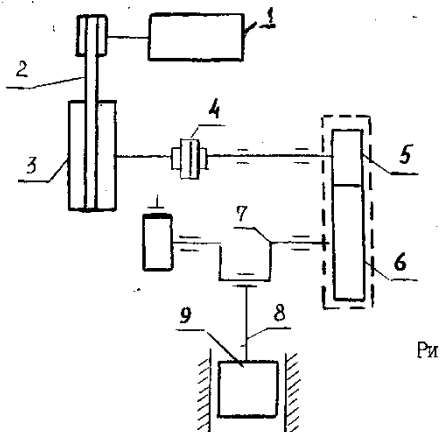
- изменением скорости вращения;
- использованием нескольких механизмов с поочередным их включением или выключением;
- изменением объема мертвого пространства;
- отжатием всасывающего клапана при нагнетании.

Последние два способа экономически не эффективны. На практике в настоящее время применяют второй способ, но он не обеспечивает плавного регулирования. Поэтому более перспективным является регулирование изменением скорости вращения, а при нескольких механизмах – смешанное, т.е. изменением скорости вращения одного и отключением (включением) других механизмов.

Электропривод механизмов с ударным характером нагрузки

К механизмам с ударной нагрузкой относятся ковочные прессы, молоты, ножницы и т.д. Примерная кинематическая схема таких механизмов представлена на рис.3.19.

От электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 (ее ведомый шкив 3 является маховиком), муфту 4 и шестерни 5, 6 получает вращение кривошипный вал 7, который при помощи шатуна 8 сообщает ползуну 9 вертикальное перемещение. В прессах к ползуну крепится верхний штамп, а к стану пресса – нижний.



Кузнечно-прессовые машины работают в режиме резко переменной ударной нагрузки, когда периоды большой нагрузки чередуются с холостым ходом (рис.3.20, кривая 1). Для большинства рассматриваемых механизмов отношение максимального значения момента нагрузки M_c к моменту M_0 при холостом ходе составляет порядка 10-30.

Приведенный статический момент и момент инерции в приводе с кривошипным механизмом определяются по формулам (3.14, 3.15, 3.16).

Расчетная мощность за цикл находится из соотношения:

$$P_p = \frac{K_z(A_o + A_m) + A_x}{1000t_{\text{ц}}}, \quad (3.19)$$

где: $A_o = F_c h$ - работа операции (технологическая работа, потери в кривошипно-шатунном механизме и промежуточной передаче), Дж; h - рабочий ход (под нагрузкой) ползуна; A_x - работа холостого хода; K_z - коэффициент запаса, принимается в зависимости от числа ходов машины и скольжения (таблица 3.3); там же даны рекомендации по выбору жесткости механической характеристики двигателя в зависимости от числа ходов механизма в минуту; $A_m = \frac{J_0 \omega_m^2}{2}$ - работа включения муфты (для машин, работающих на одиночных ходах): где: J_0 - момент инерции ведомой муфтой инерционной массы, приведенный к валу муфты, кг.м²; ω_m - угловая скорость муфты; $t_{\text{ц}}$ - время цикла, с.

Таблица 3.3

Параметр	Число ходов в минуту			
	До 15	15–50	50–100	Свыше 100
Рекомендуемое номинальное скольжение s_n двигателя	0,12-0,08	0,08-0,05	0,04-0,02	0,02-0,01
Коэффициент запаса по мощности K_z	1,15	1,2	1,3	1,4
Поправочный коэффициент неравномерности, ϵ	0,85	0,9	0,95	1,0

2.7. Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.

1. Электроприводы механизмов с переменной нагрузкой работают в продолжительном S1 или перемежающемся режимах S6, реверсирование не требуется.

2. Поскольку кривошипные механизмы при работе создают на валу двигателя периодически изменяющийся момент сопротивления, то для уменьшения колебаний необходимо применять маховики и двигатели с повышенным моментом инерции, которые позволяют уменьшить колебание скорости ротора. Необходимо отметить, что с уменьшением скорости, неравномерность работы увеличивается.

3. Регулирование скорости не требуется или требуется в ограниченных пределах; для компрессоров и насосов 3...10, а для кузнечно-прессового оборудования 10...20.

4. Колебание момента двигателя за цикл не должно превышать отношения $M_{\text{макс}}/M_{\text{мин}} \leq 1,2 \dots 1,3$.

5. Для поршневых насосов и компрессоров требуется автоматизация поддержания заданного значения давления или подачи.

6. Момент, развиваемый двигателем при пуске, должен быть не менее $1,2M_n$.

7. Пуск двигателя должен осуществляться при разгруженной машине.

8. Система управления должна иметь защиту от перегрева масла, воды и других технических неисправностей.

Предварительный выбор мощности электродвигателя для различных кривошипно-шатунных механизмов производится по формулам (3.17, 3.18, 3.19)

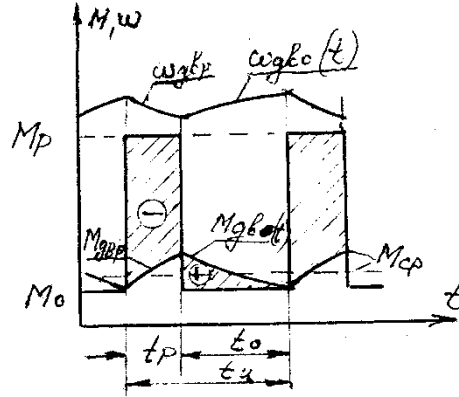


Рис.3.21. График нагрузки маховикового привода

Можно определять эквивалентный момент и, исходя из требуемой скорости, определять мощность двигателя

$$P_{н.дв} \geq (1,1 \dots 1,3) M_o \omega_{cp} \cdot 10^{-3} \text{ кВт.} \quad (3.20)$$

Нагрузочные диаграммы механизмов определяются, исходя из предварительно выбранных параметров двигателя и маховика (рис.3.20б).

Выбранному номинальному значению момента двигателя, обуславливающему хорошее использование двигателя по нагреву и по допустимой перегрузке двигателя, будет отвечать определенное значение момента инерции маховика. Максимальный момент двигателя за время действия нагрузки при линейной механической характеристики двигателя определяется по формуле:

$$M_{кр} = K_o M_n = M_{рц} \left(1 - e^{-\frac{t_p}{T_m}} \right) + M_o e^{-\frac{t_p}{T_m}}, \quad (3.21)$$

где: K_o - коэффициент перегрузки электродвигателя; T_m - электромеханическая постоянная времени, с; $M_{рц}$ - максимальное значение момента сопротивления.

Если принять, что начальный момент равен M_o , то из (3.21) следует:

$$t_p = T_m \ln \frac{M_o - M_{рц}}{K_o M_n - M_{рц}} = \frac{J_\Sigma \omega_o s_n}{M_n} \ln \frac{M_o - M_{рц}}{K_o M_n - M_{рц}}, \quad (3.22)$$

где: J_Σ - суммарный приведенный момент инерции привода.

Решая (3.22) относительно J_Σ , получим:

$$J_\Sigma = \frac{M_n t_p}{\omega_o s_n \ln(M_o - M_{рц}) / (M_n K_o - M_{рц})}. \quad (3.23)$$

Момент инерции маховика:

$$J_{макс} = J_\Sigma - J_{пр},$$

где: $J_{пр}$ - приведенный момент инерции привода без учета маховика.

Если маховик установлен после ременной передачи, то реальный момент инерции маховика

$$J_{макс.р} = J_{макс} i^2.$$

Для кузнечно-прессовых механизмов угол α_p по сравнению с полным циклом 2π составляет 5...10% и может не учитываться. В данном случае в течение рабочего периода работа по преодолению сил сопротивления совершается только маховыми массами и равна:

$$\begin{aligned} A_p &= J_\Sigma \frac{\omega_{макс}^2 - \omega_{мин}^2}{2} = \\ &= J_\Sigma \frac{\omega_{макс} + \omega_{мин}}{2} (\omega_{макс} - \omega_{мин}) = J_\Sigma \omega_{cp}^2 j, \end{aligned} \quad (3.24)$$

где: $j = \frac{\omega_{макс} - \omega_{мин}}{\omega_{cp}} = 2K_3 S_n \varepsilon$ - неравномерность хода. Значения $K_3 = \frac{P_n}{P_{cp}}$, ε - поправочный коэффициент

неравномерности, см. таблицу 3.3.

Момент инерции можно определить по формуле $J_\Sigma = \frac{A_p}{\omega_{cp}^2 \cdot j}$, а для реального графика

$$J_{\Sigma} = \frac{A_p}{\omega_{cp}^2 \cdot j} \left(1 - \frac{\alpha_p}{2\pi} \right).$$

Для проверки предварительно выбранного электродвигателя и расчетного момента инерции маховика строятся нагрузочная диаграмма $M=f(t)$ и тахограмма электропривода.

Проверку и нахождение оптимального момента инерции маховика целесообразно проводить на ЭВМ, моделируя электромеханическую систему. Структурная схема кривошипно-шатунного механизма представлена на рис.1.7. При этом необходимо учесть, что масса шатуна приводится [24] частично $(0,2...0,3)m_{ш}$ к поступательному движению и частично $(0,8...0,7)m_{ш}$ к вращательной массе кривошипа. Структурная схема нерегулируемого асинхронного двигателя, отражающая передаточную функцию $\Delta\omega/\Delta M$, может быть выражена

на основе упрощенной формулы Клосса в диапазоне скоростей от ω_k до ω_0 , а при моделировании пуска для скорости от $\omega = 0$ до $\omega = \omega_k$ уравнением $M = as^2 + bs + M_k$, где $a = M_n - M_{kp} - b$;

$b = \frac{M_{мин} - M_k(1 - s_{мин}^2) - M_n s_{мин}^2}{s_{мин}(1 - s_{мин})}$ - коэффициенты; $M_n, M_{мин}, M_k$ - пусковой; минимальный и критический

(максимальный) моменты двигателя; $s_{мин} = 0,7...0,75$ - скольжение при минимальном моменте.

Для регулируемого электропривода по системе ПЧ-АД структурная схема может быть составлена на основании упрощенной формулы:

$$M = \frac{\beta(\omega_0 - \omega)}{T_{\Delta} p + 1},$$

где: $\beta = \frac{2M_k}{s_k \omega_0}$ - жесткость механической характеристики; $T_{\Delta} = \frac{1}{s_k \omega_{0,n}}$ - электромагнитная постоянная времени.

Структурные схемы приведены на рис.3.22а,б,в.

В квазиустановившемся режиме выполняется равенство скоростей и моментов двигателя в начале и конце цикла, а также равенство площадей, пропорциональных кинетической энергии, запасенной в массах привода при холостом ходе (+) и израсходованной при нагрузке

(-). Эквивалентный момент приблизительно можно определить

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{M_{np}^2 + M_{np} M_{kp} + M_{kp}^2}{3}} \leq M_{n.об} \quad (3.25)$$

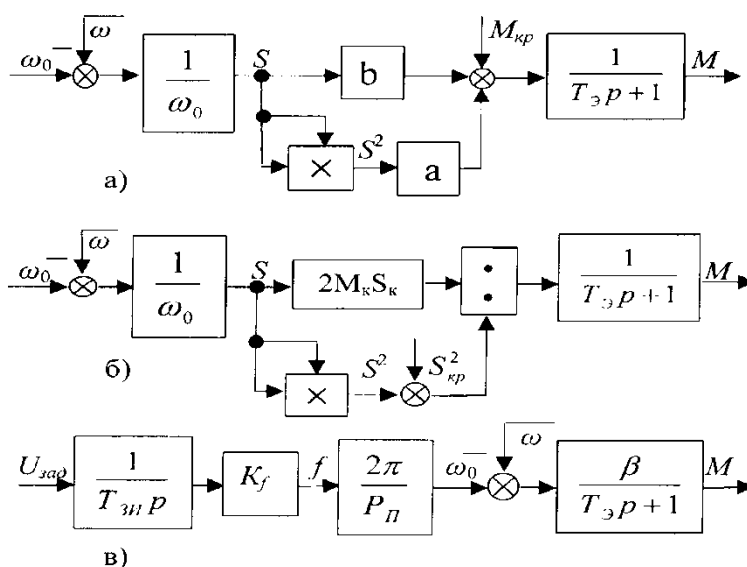


Рис.3.22. Структурные схемы асинхронного двигателя:

а – при работе на участке от $\omega=0$ до $\omega=\omega_k$; б – при пуске двигателя; в – при частотном регулировании скорости

Повышение использования маховика, как видно из (3.24), приводит к большему выравниванию нагрузки, а, следовательно, к уменьшению номинального момента. Возрастание перепада скоростей достигается также применением асинхронных двигателей с повышенным скольжением.

Электродвигатель кузнечно-прессовых механизмов с регулируемым числом ходов [6] выбирают, исходя из наибольшей мощности. Момент инерции маховика выбирают, исходя из наименьшего возможного значения скорости в диапазоне регулирования. Число ходов, при котором мощность двигателя и момент инерции достигает максимума, не совпадает. При регулировании с $M=const$ мощность выбирают, исходя из

максимального числа ходов $n_{x, макс}$, а момент инерции маховика – исходя из $n_{x, мин}$. Если регулирование числа ходов осуществляется с постоянной мощностью ($A_p n_x = const$), мощность и момент инерции находят, исходя из минимального числа ходов.

Уменьшение момента инерции маховика, если необходимо по конструктивным соображениям, достигается: увеличением частоты вращения маховика, применением электродвигателя с большим скольжением, использованием более мощного двигателя.

РАЗДЕЛ 3: ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ МЕХАНИЗМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ И ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

3.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет и анализ нагрузок механизмов этой группы.

Общие требования, предъявляемые к электроприводу

Технология работы промышленных механизмов циклического действия (экскаваторов, кранов, подъемных машин, реверсивных прокатных станков и др.) предусматривает циклическое повторение однотипных производственных операций. Для таких механизмов характерен динамичный режим работы с частыми пусками и остановками. Для обеспечения заданной производительности и качества выполнения производственных операций необходимо регулирование скорости электропривода механизмов и формирование диаграммы скорости пути движения рабочего органа, а также автоматизация управления технологическим процессом.

Механизмы циклического действия, как правило, имеют реверсивный привод, рассчитанный для работы в интенсивном повторно-кратковременном режиме с частыми пусками, торможением и реверсами. Технические возможности электропривода оказывают существенное влияние на производительность механизмов, на динамические нагрузки привода и механической части, на КПД установки и ряд других показателей.

Эти условия определяют предъявление к электроприводу сложных требований, в значительной мере общих для всей рассматриваемой группы механизмов. К таким требованиям относятся:

1. Электропривод должен обеспечивать регулирование скорости в диапазоне, необходимом для качественного выполнения производственных операций и остановки рабочего органа машины с требуемой точностью; для большинства механизмов циклического действия требуемый диапазон регулирования составляет 10:1, в более редких случаях до 50:1 (краны – штабелеры, скоростные лифты), для металлорежущих станков – до 10000:1.

2. Электропривод должен быть реверсивным и выдерживать число (от 60 до 1000 в час) пусков, остановов и реверсов.

3. Приводной двигатель должен обладать наименьшим моментом инерции и высокой перегрузочной способностью для быстрого пуска, останова и реверса механизма.

4. Электропривод должен обеспечивать ограничение момента и тока электродвигателя допустимыми значениями, как в переходных процессах пуска и торможения, так и при механических перегрузках.

5. Электропривод должен обеспечивать ограничение динамических и ударных нагрузок механического оборудования, обусловленных наличием упругих связей, зазоров в передачах и сочленениях рабочего оборудования, периодических возмущений, вызываемых кинематическими погрешностями передач.

6. Электродвигатели должны иметь повышенную механическую прочность и надежность.

Выполнение этих требований обеспечивается использованием двигателей повышенной прочности (краново-металлургических и других серий), а также автоматическими системами управления и регулирования, соответствующими указанным требованиям.

Электропривод механизмов одноковшовых экскаваторов

Одноковшовые экскаваторы подразделяют:

а) в зависимости от емкости ковша – на экскаваторы малой производительности с емкостью 0,5...2,0 м³; средней – с емкостью 2,5...8,0 м³; большой – с емкостью свыше 10 м³;

б) по характеру рабочего оборудования – на экскаватор - механическая лопата (прямая и обратная), у которого ковш имеет жесткое соединение со стрелой, и экскаватор-драглайн, у которого ковш подвешен на канатах;

в) по ходовому оборудованию на гусеничные и шагающие.

Экскаваторы малой производительности изготавливают часто на пневматическом ходу и, в основном, с гидравлическим приводом.

В зависимости от назначения экскаваторы подразделяются на вскрышные и карьерные. Карьерные экскаваторы имеют по сравнению с вскрышными более короткую усиленную стрелу, т.к. они предназначены для работы в скальных грунтах. По обозначению типа экскаватора можно судить о его назначении. Например, экскаватор ЭВГ-15 является механической лопатой на гусеничном ходу, предназначенный для вскрышных

работ с емкостью ковша 15м^3 . Экскаватор ЭКГ-8 – гусеничный, карьерный с емкостью ковша 8м^3 . В экскаваторах драглайных кроме объема ковша указывается длина стрелы, например ЭШ 15/90 шагающий экскаватор драглайн с ковшом емкостью 15м^3 и длиной стрелы 90м.

Основными механизмами одноковшовых экскаваторов, обеспечивающими в рабочем процессе перемещения ковша по требуемым траекториям, являются механизмы подъема, напора и поворота. Механизмы хода экскаватора-лопаты и шагания экскаватора-драглайна в рабочем цикле не участвуют, а предназначаются для передвижения машины в новое положение после выработки части забоя. При передвижении электроприводы основных механизмов отключаются и затормаживаются механическими тормозами.

Требования, предъявляемые к электроприводу экскаваторов

К электроприводу экскаватора ввиду тяжелых условий работы и резко переменных нагрузок на первый план выдвигаются следующие требования.

1. Надежность.
2. Обеспечение ограничения момента при выполнении технологических операций во избежание поломки механизмов.
3. Регулирование скорости в диапазоне (4...10):1.
4. Электропривод должен иметь экскаваторные механические характеристики во всех четырех квадрантах поля ω - M с коэффициентом отсечки $K_{omc} = \frac{M_{omc}}{M_{cmon}}$ для механизма подъема 0,7...0,8; для механизма напора 0,6...0,7.
5. Электропривод механизма подъема должен обеспечивать удержание порожнего и груженого ковша за счет электрического торможения.
6. К электроприводу механизма поворота дополнительным требованием является обеспечение плавности протекания переходных процессов при отработке заданного угла поворота и минимально возможное время поворота с ограниченным ускорением. Это вызвано тем, что механизм поворота экскаватора лопаты, обладает значительным приведенным моментом инерции, в несколько раз превышающим момент инерции двигателя. Кроме того, вследствие большого значения передаточного числа в передаче имеются люфты и зазоры. Коэффициент отсечки для привода поворота целесообразно иметь в пределах 0,95...1.
7. Схема соединений силовых цепей и динамические свойства системы управления электроприводом должны способствовать реализации возможного демпфирующего действия, которое оказывает электропривод на механические колебания в электромеханической системе.
8. Электропривод должен выдерживать 400-600 включений в час.
9. Режим работы механизма подъема и напора – S8, поворота – S7.

3.2. Расчет и анализ нагрузок механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.

Выбор мощности электродвигателей механизмов экскаваторов

Порядок расчета мощности электродвигателя следующий:

1. Строится упрощенная нагрузочная диаграмма и определяется мощность электродвигателя.
2. Производится предварительный выбор двигателя.
3. Для заданных режимов работы механизмов строится нагрузочная диаграмма электропривода за рабочий цикл с учетом динамических моментов.
4. Методом эквивалентного тока или момента выполняется проверка двигателя на нагрев.
5. Производится проверка на перегрузочную способность.

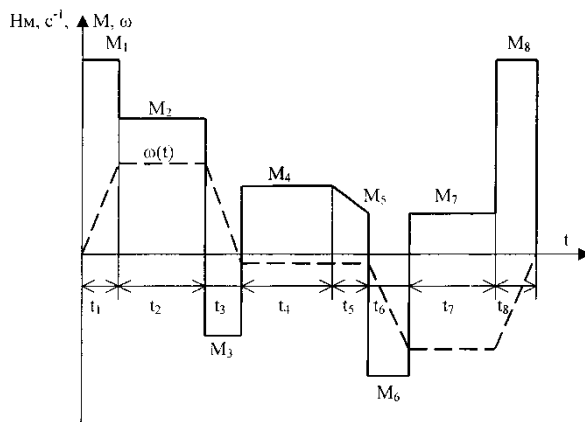


Рис.4.14. Нагрузочная диаграмма и тахограмма механизма подъема экскаватора

Для выбора мощности электродвигателя используют нагрузочные диаграммы работы механизма. На рис.4.14 представлена упрощенная нагрузочная диаграмма механизма подъема экскаватора с учетом динамических моментов.

Цикл основных рабочих периодов механизма подъема состоит из следующих основных операций:

- t_1 - разгон двигателя в начале черпания (копания) грунта;
- t_2 - подъем ковша с рукоятью в период черпания грунта;
- t_3 - остановка ковша с грунтом после выхода из забоя;
- t_4 - равновесное поддержание ковша с грунтом при повороте его к месту выгрузки;
- t_5 - выгрузка ковша, момент двигателя уменьшается с опорожнением ковша от грунта;
- t_6 - разгон двигателя при опускании пустого ковша;
- t_7 - опускание пустого ковша с постоянной скоростью;
- t_8 - торможение ковша перед опусканием на грунт.

Расчет момента производится для режима копания, удержания при повороте и опускании ковша, соответственно по следующим формулам.

$$M_2 = \frac{(G_{ков} + G_{рп} + 0,5G_p + G_{рез})gR_{б.}}{i \cdot \eta_n};$$

$$M_4 = \frac{(G_{ков} + G_{рп} + 0,5G_p)g \cdot R_{б.} \cdot \eta_n}{i};$$

$$M_7 = \frac{(G_{ков} + 0,5G_p)g \cdot R_{б.} \cdot \eta_n}{i};$$

где: $G_{ков}, G_{рп} = \frac{V_1 \gamma}{\epsilon}$ - масса ковша и грунта в кг; G_p - масса рукояти, кг. Масса рукояти наполовину уравновешена

хвостовой частью рукояти; $G_{рез} = \frac{F_{рез}}{g} = \frac{K \cdot V_1}{b \cdot l \cdot g}$ - масса, соответствующая действию усилия резания $F_{рез}$, кг; $R_{б.}$ -

радиус барабана лебедки, м; $V_1 = S \cdot l \cdot \epsilon$ - объем ковша, заполненный породой, м³; b - коэффициент разрыхления породы (принимается 1,1...1,35); l - длина резки или высота карьера, м; K - удельное сопротивление копанию, Н/м²; S - сечение снимаемой стружки породы, м²; γ - плотность породы, кг/м³.

Моменты двигателя при разгоне и торможении (рис.4.14) принимаются равными $M_1=1,5M_2$; $M_3=0,8M_2$; $M_6=M_2$; $M_8=1,5M_2$. При построении нагрузочной диаграммы электропривода моменты двигателя при спуске и торможении рассчитывают с учетом реальных динамических моментов, определяемых приведенным моментом инерции и ускорением (замедлением) соответствующего механизма. Продолжительность включения принимают ПВ=100%.

Типовые электроприводы механизмов экскаватора

Удовлетворить перечисленным в 4.4.1 требованиям может система электропривода, обеспечивающая непрерывное управление скоростью механизма во всех режимах с высокими показателями точности и качества регулирования основных координат движения рабочего органа. Поэтому для индивидуального электропривода основных механизмов одноковшовых экскаваторов с емкостью ковша выше 2м³ в настоящее время принимаются двигатели постоянного тока с независимым возбуждением, управляемые изменением напряжения в цепи якоря по системе управляемый преобразователь – двигатель (УП-Д). В качестве управляемого преобразователя используют генератор постоянного тока (Г-Д), или тиристорный преобразователь (ТП-Д).

Несмотря на многие преимущества системы ТП-Д (повышенное значение кпд, бесшумность, отсутствие вращающихся частей) в экскаваторном приводе для питания цепей якоря они находят пока еще ограниченное применение. Электропривод по системе ТП-Д совместно с фильтрокомпенсирующими устройствами, необходимыми для улучшения коэффициента мощности и снижения искажений питающей сети, пока имеют более высокие массогабаритные показатели, стоимость и меньшую эксплуатационную надежность, чем система Г-Д.

В настоящее время наибольшее применение находят системы Г-Д с питанием обмотки возбуждения генератора от тиристорного возбудителя (ТВ-Г-Д).

Одна из возможных схем ТВ-Г-Д приведена на рис.4.15. В этой схеме используется преобразователь UZ с системой импульсного фазового управления, выполненной на магнитном усилителе МУ (горизонтальная система управления тиристорными преобразователями), что позволяет иметь потенциально развязанные входы для каждой из обратных связей. Формирующая положительная связь по напряжению генератора вводится на вход магнитного усилителя возбудителя – обмотка ОН (UZ). Возбудитель также выполняет функцию звена ограничения тока, поэтому на управляющую обмотку магнитного усилителя ОТ (UZ) воздействует сигнал отрицательной связи по току якорной цепи.

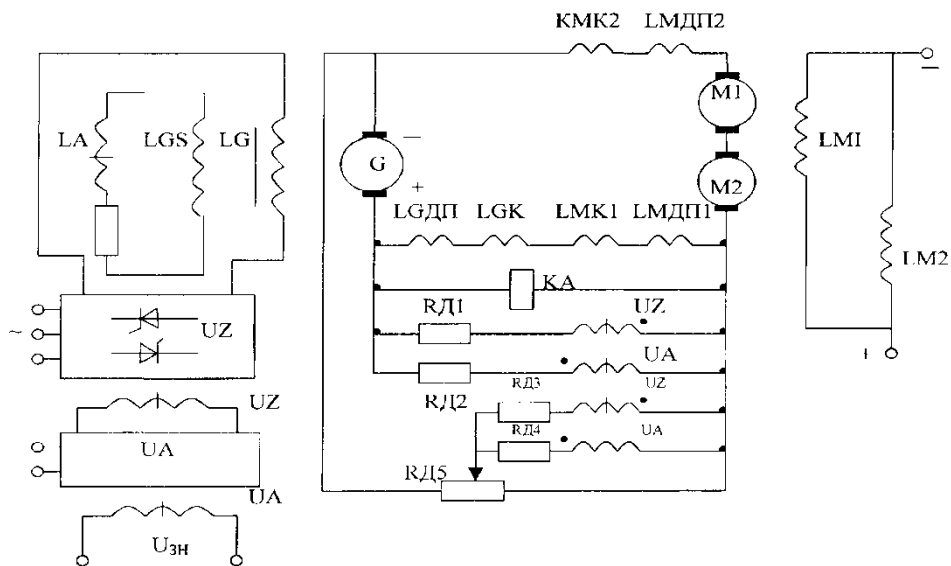


Рис. 4.15. Схема электропривода экскаватора по системе ТВ-Г-Д

Задающая обмотка МУ возбуждителя UZ получает питание от регулятора напряжения UA, функции которого выполняет реверсивный магнитный усилитель. Магнитные усилители возбуждителя UZ и UA работают за счет изменения индуктивности рабочей цепи при различной степени насыщения сердечников, что приводит к регулированию величины напряжения и к изменению угла выходного напряжения. Величина напряжения изменяется от нуля при ненасыщенном усилителе до U_{\max} при насыщенном, а угол управления $\alpha=90^\circ$ при ненасыщенном усилителе до $\alpha=0$ при насыщенном. На обмотки управления UA действует сигнал задания напряжения $-U_{3н}$; для повышения жесткости механической характеристики двигателя (за счет стабилизации напряжения генератора) действует отрицательная обратная связь по напряжению ОН (UA) и положительная по току ОТ (UA). Для электропривода механизма поворота обратная связь по току, как правило, не применяется. Это вызвано необходимостью демпфирования колебания ковша после выхода на установившуюся скорость, чему способствует пониженная жесткость механической характеристики.

Обычно положительная связь по току устанавливается из расчета, чтобы напряжение на выходе генератора, на рабочем участке, при изменении нагрузки оставалось постоянным. Для электропривода подъема и тяги, желательно меньшее заполнение экскаваторной характеристики ($K_{омс}=0,7...0,8$), поэтому положительная связь по напряжению ОН (UZ) делается слабее, что приводит к уменьшению $K_{омс}$. В схеме, кроме того, предусмотрена гибкая отрицательная обратная связь по э.д.с. генератора ОГ (UA). На рис.4.16 приведена механическая характеристика для электропривода механизма поворота по системе ТВ-Г-Д.

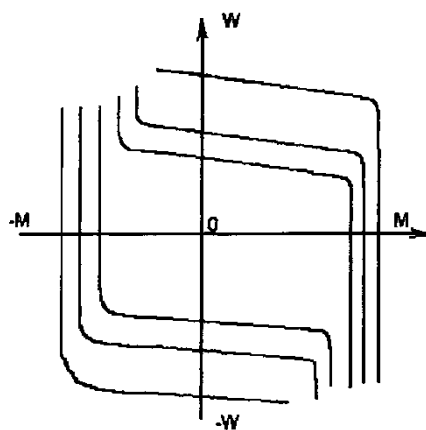


Рис.4.16. Механические характеристики электропривода

Структурная схема узла возбуждатель-генератор представлена на рис.4.17а. Значение T_2 и K_2 определяется формулами:

$$T_2 = \frac{2P_n \cdot \sigma \cdot W_g^2 \cdot K_\phi}{r_g}; \quad K_2 = \frac{W_g \cdot K_\phi \cdot \omega_o \cdot K_m}{r_g}.$$

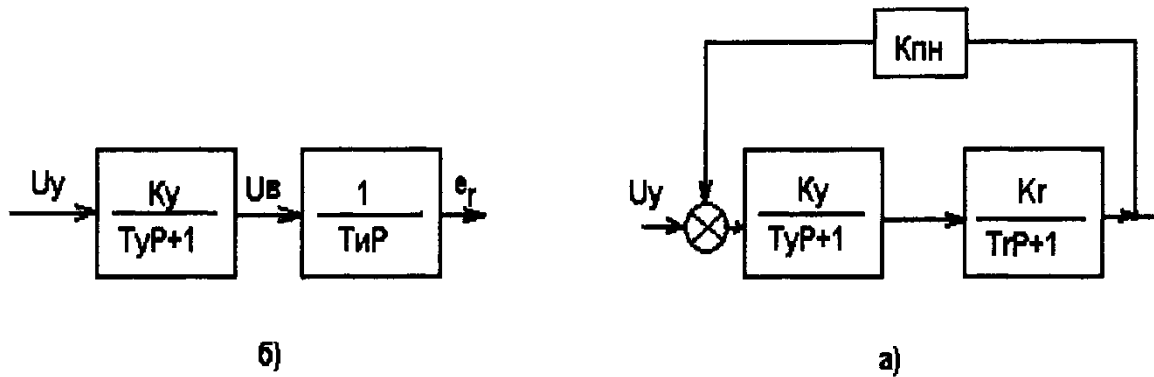


Рис.4.17. Структурная схема узла возбудитель-генератор

Передаточная функция этого узла схемы, замкнутого положительной связью по напряжению генератора

$$W_{ТВ.Г}(p) = \frac{E_r(p)}{U_y(p)} = \frac{K_y \cdot K_z}{(T_y \cdot p + 1)(T_z \cdot p + 1) - K_y \cdot K_z \cdot K_{mn}}$$

При критическом коэффициенте положительной связи по напряжению $K_{mn} = \frac{1}{K_y \cdot K_z}$ с учетом того, что

$T_z \gg T_y$ получим

$$W_{ТВ.Г}(p) = \frac{K_y \cdot K_z}{T_z \cdot \rho(T_y p + 1)} = \frac{K_y}{T_u \cdot p(T_y p + 1)}$$

где: $T_u = \frac{T_z}{K_z} = \frac{2p_n \cdot \sigma \cdot W_s}{\omega_o \cdot K_m}$.

Преобразованная структурная схема замкнутого контура показана на рис.4.17б. Из нее следует, что данная схема соответствует унифицированной, рассмотренной в [12].

Задание скорости осуществляется с помощью сельсинного командо-аппарата СККП (рис.4.18) или СКА через фазочувствительный выпрямитель ФЧВ.

Сельсинный командоаппарат СККП состоит из сельсина БС-400, первичная обмотка которого питается напряжением 85В. Вторичные обмотки, диоды VD1, VD2, балластные резисторы R1, R2 и конденсаторы C1, C2 образуют двухполярную схему выпрямления с отфильтрованным напряжением, которое питает управляющие обмотки МУ регулятора напряжения. Работа СККП осуществляется следующим образом: в нулевом положении потенциалы вторичных обмоток 1,2 равны, и ток по управляющей обмотке магнитного усилителя не течет. При повороте ротора сельсина, например, вправо, э.д.с. обмотки 1 увеличивается, а обмотки 2 уменьшается и ток потечет через выпрямитель МВ1, управляющие обмотки МУ, балластные сопротивления и обмотки сельсина 3, величина тока пропорциональна углу поворота. Максимальный угол поворота сельсина 60° . При повороте ротора сельсина в противоположную сторону ток потечет через диод VD2 в противоположном направлении.

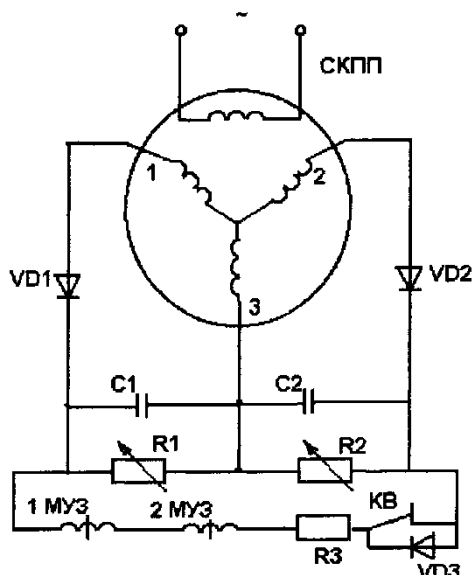


Рис.4.17. Схема сельсинного командно-аппарата

3.3. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Анализ и расчет статических нагрузок.

Электропривод механизмов подъемных кранов

Грузоподъемные краны объединяют большую группу подъемно-транспортных установок циклического действия. В зависимости от назначения краны имеют различные конструктивные исполнения. Наибольшее распространение получили мостовые, козловые, башенные, порталные и стреловые краны.

Основными механизмами крана являются: механизм подъема, механизм передвижения, механизм поворота и механизм передвижения грузовой тележки.

В зависимости от вида грузозахватывающего устройства различают: крюковые, магнитные, грейферные, клещевые и другие краны.

Козловые краны предназначены для работы на открытой площадке. По принципиальной схеме, характеру работы и форме обслуживаемого поля они весьма схожи с мостовыми, поэтому их относят к кранам мостового типа. Мостовое пролетное строение козлового крана снабжено опорами и передвигается по рельсам, уложенным на земле.

На строительных, монтажных и перегрузочных работах широкое применение находят стреловые, башенные и порталные краны. Особенностью этих кранов является наличие механизма поворота.

Строительный башенный кран состоит из башни, опорной рамы (портала), которая опирается на ходовые тележки. В верхней части крана имеется поворотный круг (может быть и в нижней части крана), на котором вращается поворотная головка башни со стрелой и консольным противовесом. Изменение вылета крюка достигается перемещением тележки вдоль стрелы. Все рабочие движения крана обслуживаются следующими механизмами: подъема, состоящего из подъемной лебедки и грузозахватывающего устройства, передвижения крана, передвижения тележки и поворота крана.

Механизмы крана работают в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и остановками. Нагрузка кранов, как правило, изменяется в широких пределах: для механизма подъема от 0,1 до 1,0, а для механизмов передвижения от 0,5 до 1,0 номинального значения. Неравномерно краны используются и по времени. Поэтому каждый механизм крана в соответствии с ГОСТ 25835-83 классифицируется по группам режимов работы. Всего установлено 6 групп 1М...6М.

Основными показателями, по которым производится классификация механизмов по режиму работы, являются коэффициент нагружения K_p и суммарное время работы механизмов за срок службы:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{Q_i}{Q_n}\right)^3 C_i}{\sum_{i=1}^m C_i}, \quad (4.9)$$

где: Q_i - масса груза в тоннах, перемещаемого краном с числом циклов C_i ; $\sum_{i=1}^m C_i$ - число циклов работы кранов за срок их службы; Q_n - номинальная грузоподъемность крана в тоннах; K_p - принимают 0,125; 0,25; 0,5; 1,0 для

соответствующих групп нагружения. При расчетах пользуются среднекубическим значением $K_q = \sqrt[3]{K_p} = 0,5; 0,63; 0,8; 1,0$.

Принятые ГОСТом параметры классификации механизмов не учитывают условия выбора электрооборудования: относительную продолжительность включения и число включений в час. Классификационные параметры, принятые для расчета по правилам Гостехнадзора, приведены в таблице 4.1.

В связи с частыми пусками и перегрузками электропривода, а также особо тяжелыми климатическими условиями работы (температура, большая влажность и т.д.), электрооборудование должно иметь конструкцию повышенной механической прочности и защищенности от воздействия окружающей среды. Электрооборудование должно также допускать повышенные перегрузки и большое число включений в час. Выпускается специальная серия крановых электродвигателей постоянного и переменного тока, предназначенных для механизмов кранов. Крановые электродвигатели в отличие от двигателей общего применения имеют повышенную механическую прочность, высокую перегрузочную способность за счет усиления коллектора и обмотки якоря в двигателях постоянного тока и повышенного зазора в двигателях переменного тока, и ротор уменьшенного диаметра и удлиненной формы, для снижения его момента инерции. Из-за повышенного зазора асинхронные двигатели имеют повышенный ток холостого хода (до 75% от номинального).

Таблица 4.1

Классификация механизмов и электрооборудования кранов

Группа режимов работы механ.	Расчетные параметры механизмов крана			Классификация режима работы электрооборудования		
	ПВ %	Среднесменное число включений в час	Расчетное время работы в год, час	Режим работы	ПВ %	Число включений в час
1М	15	60	250	Л		
2М	15	60	250		15	60
3М	25	90	500	С	25	120
4М	40	120	1000		40	
5М	40	240	2500	Т	40	240
6М	60	Свыше 360	4000	ВТ	60	300-600

Требования, предъявляемые к электроприводу механизмов крана

Для качественного выполнения подъема, спуска и перемещения грузов электропривод крановых механизмов должен удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Обеспечивать регулирование скорости двигателя в сравнительно широких пределах: для обычных кранов (3...6):1; для кранов штабелеров; контейнерных кранов (8...20):1; для башенных кранов (10...40):1. Причем, для уменьшения мощности электродвигателя и повышении производительности в механизмах подъема целесообразно применять двухзонное регулирование скорости. Применение двухзонного регулирования скорости позволяет большие грузы перемещать с номинальной скоростью, а более легкие с повышенной.
2. Обеспечивать минимальную скорость в зависимости от типа крана и вида механизма в пределах от 0,02 до 0,25м/с.
3. Иметь жесткие механические характеристики, особенно регулировочные, чтобы величина скорости мало зависела от нагрузки.
4. Ограничивать ускорение до допустимых пределов при минимальной длительности переходных процессов. Для основных типов кранов механизмы передвижения и поворота должны иметь ускорение в пределах от 0,1 до 0,5м/с². Это условие связано с необходимостью ослабления ударов в механических передачах при выборе зазоров, предотвращения буксования ходовых колес, тележек и мостов и уменьшения раскачивания подвешенного на канатах груза, которое имеет место при интенсивном разгоне и резком торможении механизмов передвижения и поворота.
5. Обеспечивать точную остановку для крана-штабелера в пределах 2...10мм, для контейнерного крана 25...50мм.
6. Обеспечивать реверсирование электропривода и его работу в двигательном и тормозном режиме. В механизмах подъема обеспечивать подтормаживание при спуске и автоматический переход из двигательного в тормозной режим в зависимости от веса груза.
7. При многодвигательном приводе, электрическая схема должна обеспечивать выравнивание нагрузок между двигателями, а для механизмов передвижения - предотвращение перекоса моста.

3.4. Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой.

Выбор мощности электродвигателя механизмов крана

Для кранов имеют место три наиболее характерных случая выбора электродвигателя:

1. Цикл работы механизма задан, причем динамические нагрузки оказывают незначительное влияние на нагрев двигателя (механизм подъема).
2. Цикл работы механизма задан и известно, что динамические нагрузки существенно влияют на нагрев двигателя (механизмы передвижения и поворота).
3. Цикл работы механизма заданием не определен.

В первых двух случаях выбор мощности двигателя производится как для повторно кратковременного режима S3.

Пример нагрузочной диаграммы механизма подъема крана представлен на рис.4.4а. В первом случае при предварительном выборе двигателя увеличение нагрева двигателя от динамических токов учитывается коэффициентом запаса.

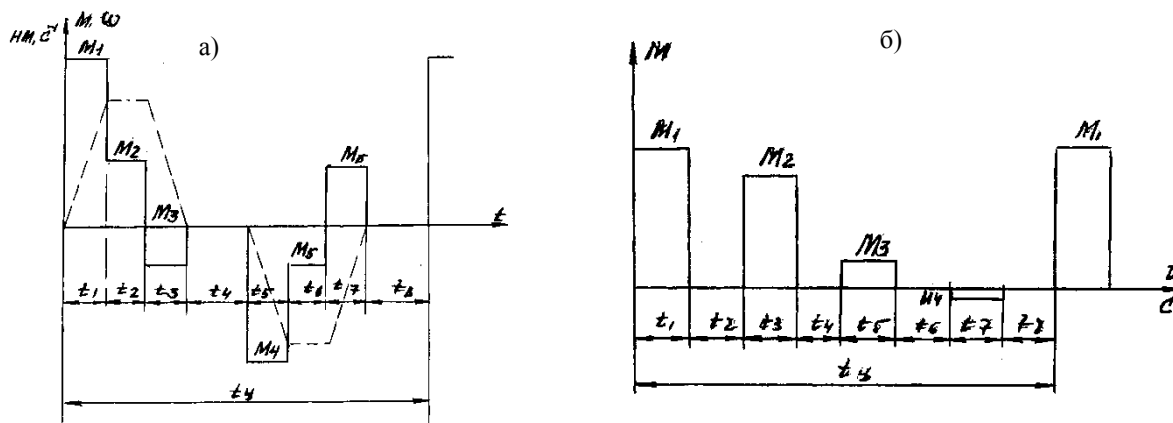


Рис.4.4. Нагрузочные диаграммы:
а) механизма подъема крана, б) электропривода механизма передвижения

Требуемая мощность электродвигателя при заданной скорости для соответствующего $ПВ_{см}$ определяется по формуле:

$$P = K_{з0} \cdot M_э \cdot \omega_n, \quad (4.10)$$

где: $M_э$ - эквивалентный момент за цикл; $K_{з0}$ - принимается в пределах 1,08...1,4.

По [12] при $\frac{t_n}{t_{ycm}} \leq 0,05$ следует брать меньшее из указанных значений, а при $\frac{t_n}{t_{ycm}} > 0,2...0,3$ большее (где

t_n и t_{ycm} - продолжительность пуска и установившегося движения).

Во втором случае, когда t_n и t_{ycm} соизмеримы или $t_n > t_{ycm}$ пренебрегать динамическими нагрузками нельзя даже при предварительном выборе электродвигателя. В этом случае необходимо для предварительного выбора построить приближенную нагрузочную диаграмму и тахограмму электропривода рис.4.4б, задавшись по аналогии с действующими установками его моментом инерции. Предварительно выбранный двигатель необходимо проверить по нагреву методом эквивалентного тока или момента, а также на перегрузочную способность.

Когда цикл работы механизма не задан, для расчета мощности двигателей можно использовать типовые диаграммы в соответствии с классификационной режимной группой механизма крана, установленной ГОСТ 25835-83 [25], или воспользоваться методом эквивалентного КПД (метод завод «Динамо»).

По этому методу принимается следующий порядок расчета мощности двигателя:

1. В зависимости от характера производства и назначения крана по ГОСТ 25835-83 или [25] определяют режим работы электродвигателя (1М...6М).

2. Находят величину статической мощности при подъеме (передвижении) номинального груза из выражения:

$$P_{ст} = \frac{F \cdot V \cdot 10^{-3}}{m \cdot 60 \cdot \eta} \text{ кВт}, \quad (4.11)$$

где: F - сила сопротивления, Н; при подъеме $F = (G_o + G_{сп}) g$, при перемещении F - сопротивление движению с учетом нагрузки от ветра и уклона; V - скорость передвижения кранов (груза) м/мин; m - количество двигателей; η - КПД передачи.

3. В соответствии с режимом работы и в зависимости от системы электропривода (таблица 4. 2) выбирается общий коэффициент K_m .

4. По каталогу или справочнику выбирается электродвигатель из условия $P_n \geq \frac{P}{K_m}$.

На втором этапе выбранный электродвигатель проверяют на нагрев и перегрузочную способность. На нагрев двигатель проверяют по формуле:

$$P_n \geq \frac{K_{\text{экв}} K_z \sqrt{\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_n}} \cdot K_n \cdot \eta_{\text{экв}} \cdot P_{н.г}}{K_o \cdot K_p \cdot [\eta_{\text{экв}} - K_g (\eta_{\text{экв}} - \eta_{\text{эк}})]},$$

где: $K_{\text{экв}}$ - среднекубический коэффициент нагружения; K_z - коэффициент запаса; K_n - коэффициент, учитывающий зависимость потерь от изменения напряжения по [25].

$$K_n = \sqrt{\frac{U_n + U_\phi}{U_n (1 + \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_n})}} \cdot \left(\frac{f_\phi}{f_n}\right),$$

где: U_ϕ, f_ϕ - фактические значения напряжения и частоты, для постоянного тока $\frac{f_\phi}{f_n} = 1$; K_o - коэффициент,

учитывающий изменение допустимой мощности в зависимости от продолжительности включения ε_p ;

$$K_p = 1 - 1,2(\varepsilon_{pp} - \varepsilon_{ppб}),$$

где: $\varepsilon_{pp}, \varepsilon_{ppб}$ - стандартная и базовая продолжительность включения при регулировании; $\varepsilon_{ppб} = 0,05$, ε_{pp} выбирается по таблице 4.3; K_g - учитывает влияние динамических потерь на нагрев двигателя; для систем параметрического регулирования короткозамкнутых двигателей $K_g = 4$, а для электропривода других типов $K_g = 1,25$; $\eta_{\text{эк}}, \eta_{\text{экв}}$ - эквивалентный КПД, фактический и базовый.

Базовые значения коэффициентов при режимах работы 1М-5М приведены в таблицах 4.2, 4.3.

Коэффициенты для режима 6М и более подробные сведения о методе эквивалентного КПД смотрите [25].

Проверка на перегрузочную способность, т.е. проверка на обеспечение пускового режима производится по формуле

$$M_{\text{макс}} \geq K_z (M_{\text{зн}} + M_{\text{дин}}), \quad (4.12)$$

где: $M_{\text{зн}}, M_{\text{дин}}$ - номинальный статический и динамический моменты; $K_z = 1,1 \dots 1,2$ - коэффициент запаса по моменту, для двигателя переменного тока берется большее значение.

Для механизмов передвижения двигатель необходимо проверить по условиям сцепления $M_{\text{пуск}} \leq M_{\text{сц}}$.

Таблица 4.2

Значения K_m для различных систем электропривода

Система электропривода	$\eta_{\text{экв}}$	K_g	K_m					
			Подъем при $J_\Sigma / (1,2J_{\text{ог}}) \leq 1,5$, передвижение и поворот при $J_\Sigma / (1,2J_{\text{ог}}) \leq 5$ для режимов			Передвижение и поворот при $J_\Sigma / (1,2J_{\text{ог}}) > 5$ для режимов		
			1М-3М	4М	5М	3М	4М	5М
Асинхронный электропривод: двухскоростной при $2p=4/24$	0,83	4	0,7	-	-	-	-	-
Одноразностной при $2p=6$	0,81	4	1,3	1	0,65	0,2	-	-
С фазным ротором при торможении противовключением	0,76	1,25	1,4	1,2	0,95	0,75	0,65	0,35
С фазным ротором при динамическом торможении	0,81	1,25	1,45	1,3	1,1	0,9	0,85	0,5
Двухразностной при $2p=4/6$ с неполной зоной частотного управления	0,95	1,25	1,4	1,15	1	0,55	0,2	-
Тиристорный электропривод постоянного тока	0,94	1,25	2	1,3	1,15	1,4	1	10,7
Электропривод постоянного тока с параметрическим регулированием	0,81	1,25	2	1,25	1,1	1,25	0,85	0,5

Таблица 4.3

Параметры режимов работы

Группы электроприводов	Механизм подъема при $J_{\Sigma} / (1,2J_{\text{дв}}) \leq 1,5$, передвижения и поворота при $J_{\Sigma} / (1,2J_{\text{дв}}) \leq 5$				
	ε_p	$K_{\text{экв}}$	ε_{pp}	K_3	$N_B = \frac{J_{\Sigma}}{1,2J_{\text{дв}}} \cdot \dots$
1М, 2М	0,15	0,63	0,05	1	До 60
3М	0,25	0,63	0,075	1	60-100
4М	0,4	0,63-0,75	0,1	1	100-150
5М	0,4	0,75-0,8	0,15	1	150-300
6М	0,6	0,8	0,15	1,15-1,25	400-600
	Механизмы передвижения и поворота при $J_{\Sigma} / (1,2J_{\text{дв}}) > 5$				
1М, 2М	0,15	0,63	0,05	1	До 800
3М	0,25	0,63	0,075	1	800-1000
4М	0,4	0,63-0,75	0,1	1	1000-1500
5М	0,4	0,75-0,8	0,15	1	1500-3000
6М	0,6	0,8	0,15	1,15-1,25	4000-6000

$N_B, N_{\text{рас}}$ – эквивалентное и расчетное число пусков в час.

Типовые электроприводы крановых механизмов

В зависимости от назначения и типа крана, вида механизма и требований, предъявленных к приводу, применяются различные системы крановых электроприводов.

Промышленностью выпускаются комплектные крановые электроприводы и панели управления электродвигателями. Ниже приведены основные из них [25].

Электроприводы постоянного тока:

- с управлением магнитным контроллером МК-ДП (магнитным контроллером, называют устройство управления, состоящее из командоконтроллера и контакторных панелей);
- по системе тиристорный преобразователь – двигатель ТП-Д.

Электроприводы переменного тока:

- с односкоростным или двухскоростным асинхронным короткозамкнутым двигателем, управляемым магнитными пускателями, МП-АДК, МП-АДД;
- с асинхронным двигателем с фазным ротором, управляемым магнитным контроллером с торможением противоключением, МКП-АДФ;
- с асинхронным двигателем с фазным ротором, управляемым магнитным контроллером с динамическим торможением с самовозбуждением СМКД-АДФ;
- по системе асинхронный двигатель с фазным ротором – управляемый тиристорный преобразователь напряжения ТПН-АДФ;
- асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый магнитным контроллером с тиристорным импульсно-ключевым регулированием МКИ-АДФ;
- по системе тиристорный преобразователь частоты с непосредственной связью – двухскоростной асинхронный короткозамкнутый двигатель (НПЧ-АДД).

Технические данные некоторых из указанных приводов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Технические данные типовых электроприводов кранов

Тип электр прив	Механизм	Диапа зон рекул.	Тип магнит. Контроллера и	Наибольшая расчетная мощность электродвигателя, кВт при $U_{\text{ном}}=380\text{В}$	Тип кранов
--------------------	----------	------------------------	---------------------------------	--	------------

ода		скорос ти	преобразоват еля	1М-3М	4М	5М	6М	
МК- АДД	Подъем, пере- движение	6:1 3:1	Б5701 Б5701	22 22	18,5 18,5	- -	- -	Облегченные
МКД- АДФ	Подъем, крюковой, грейферны й	8:1	ТСД60, ТСД160, ТСД250, ТСД400, ТСДГ160	37, 85, 140, 250, 85	30, 70, 110, 200, 70	25, 58 90, 160 58	-	Краны мостовые козловые, башенные, где требуется диапазон регулирования 8:1
МКИ- АДФ	Передвиже ние	10:1	БОК6511, БОК6502	37 2x18,5	30 2x15	22 2x11	-	Все типы кранов, где требуются жесткие характеристики
ТПН- АДФ	Подъем, пере- движение	4:1 Подъе м 8:1 Спуск 8:1 Перед вижен ие	П6512...ПУ ПС512...КУ		До 80			Контейнерные краны с двухдвигательными и кратным двум двигателями приводами
НПЧ- АДД	Поворот, пере- движение	(10...2 0):1	ТТС40, ТТС100 Б004			24 60		Башенные краны
МК- ДП	Подъем, передвижен ие	6...1	ПСО160... ПС630 ПСО...П630 или (ДП) двухдвигател ьный	38, 150	30... 125	25... 100	16...8 0	Мостовые металлургические краны
ТП-Д	Подъем, поворот	40:1	ТПЕ, панель управления П9203		240			Башенные краны
	Поворот, пере- движение	100:1	Комплектны й привод ЭТУ 360		20			Краны штабелеры

3.5. Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Основные принципы, особенности.

Машины, рабочий орган которых для нормального течения технологического процесса должен либо на отдельных этапах работы, либо в каждый момент времени занимать в пространстве строго фиксированные положения, называются позиционными. К числу таких машин относятся все подъемно-транспортные машины, одноковшовые экскаваторы, ряд металлорежущих и деревообрабатывающих станков, манипуляторы и роботы различного назначения и другие аналогичные им машины и установки.

Рабочие органы перечисленных машин и установок перемещаются в пространстве с помощью нескольких взаимодействующих механизмов, обеспечивающих перемещения по отдельным координатам обслуживаемого пространства. Эти позиционные механизмы имеют, как правило, индивидуальные электрические приводы, управление которыми и обеспечивает требуемые пространственные перемещения рабочего органа.

При ручном управлении контроль текущего положения рабочего органа осуществляется визуально оператором, который, воздействуя на задание скоростей электроприводов отдельных механизмов, обеспечивает перемещение рабочего органа машины по требуемым траекториям или установку в фиксированные позиции в соответствии с технологическим процессом. При этом к электроприводу требование регулирования положения не предъявляется. Однако электропривод должен обеспечивать регулирование скорости и обладать благоприятными динамическими качествами, облегчающими условия регулирования положения оператором.

Автоматическое регулирование положения требует дискретного или непрерывного контроля фактических значений регулируемой координаты. Электроприводы, предназначенные для регулирования положения рабочего органа машины, называются *позиционными*.

В зависимости от конкретных требований возможны четыре следующих варианта автоматического регулирования положения:

- 1) точное позиционирование электропривода в заданных точках пути по дискретным сигналам путевых датчиков (точный останов электропривода);
- 2) непрерывное автоматическое регулирование положения по отклонению в целях осуществления дозированных перемещений;
- 3) непрерывное регулирование положения по отклонению по заданной программе (программно-управляемый позиционный электропривод);
- 4) непрерывное автоматическое регулирование положения по отклонению при произвольно изменяющемся сигнале задания (позиционный следящий электропривод).

Целью данной главы является изучение физических особенностей позиционных электроприводов, условий, обеспечивающих требуемую точность позиционирования при дискретном или непрерывном регулировании положения, а также получение первых представлений об особенностях следящего электропривода, свойства которого более полно изучаются в курсе «Системы управления электроприводами». В результате изучения материалов данной главы студенты должны знать, какие факторы влияют на точность позиционирования, и уметь обеспечивать требуемую точность и динамические показатели качества регулирования при различных способах позиционирования.

Точный останов электропривода

Рассмотрим задачу точного позиционирования рабочего органа механизма в заданных точках пути по сигналам путевых датчиков, или, как ее называют иначе, задачу автоматического точного останова электропривода. Эта задача сводится к автоматическому отключению двигателя и наложению механического тормоза в такой точке пути, из которой электропривод за время торможения, двигаясь по инерции, перемещается в заданную точку пути с требуемой точностью. Процесс останова, таким образом, начинается с поступления в схему управления электроприводом импульса путевого командоаппарата на отключение двигателя и наложение механического тормоза. Если принять, что отключение двигателя и наложение механического тормоза происходят одновременно и усилие тормоза возрастает до установленного значения скачком, то весь процесс точного останова можно разделить на два этапа.

Первый этап обусловлен наличием собственного времени срабатывания аппаратуры t_a в схеме управления электроприводом. Вследствие возникающего запаздывания в течение времени t_a двигатель не отключается от сети, и электропривод продолжает движение со скоростью $\omega_{нач}$, с которой он подошел к датчику точного останова, и проходит путь

$$\varphi' = \omega_{нач} t_a.$$

По истечении времени срабатывания аппаратуры двигатель отключается от сети, и накладывается механический тормоз. Наступает второй этап процесса останова, во время которого запасенная во всех движущихся массах системы кинетическая энергия расходуется на совершение работы по преодолению сил статического сопротивления движению находимом при этом пути φ'' :

$$J_{\Sigma} \omega_{нач}^2 / 2 = (M_c + M_T) \varphi'',$$

где M_T — момент механического тормоза.

Откуда

$$\varphi = \varphi' + \varphi'' = \omega_{нач} t_a + J_{\Sigma} \omega_{нач}^2 / 2 (M_c + M_T). \quad (8.1)$$

На первом этапе скорость $\omega = \omega_{нач} = \text{const}$, на втором она изменяется в зависимости от пути по закону

$$\omega = \sqrt{\omega_{нач}^2 - 2\varepsilon\varphi},$$

где $\varepsilon = (M_c + M_T) / J_{\Sigma}$ — ускорение электропривода на втором этапе.

Зависимость $\omega = f(\varphi)$ при установке датчика точного останова (ДТО) в точке $\varphi=0$ и некоторой начальной скорости $\omega_{нач}$ показана на рис. 8.1 (кривая 1). Так как все параметры, определяющие по (8.1) путь, проходимый электроприводом в процессе точного останова, при работе электропривода не остаются постоянными, абсолютно точный останов невозможен. Так как после срабатывания ДТО движение системы является неуправляемым, наибольшая неточность останова зависит только от пределов изменения параметров, входящих в (8.1). Эти пределы можно характеризовать следующими выражениями, представляющими наибольшие и наименьшие значения соответствующих переменных и параметров:

$$\begin{aligned} \omega_{нач} &= \omega_{ср} \pm \Delta\omega_{max}; \quad t_a = t_{ср} \pm \Delta t_{max}; \quad J_{\Sigma} = J_{\Sigma ср} \pm \Delta J_{min}; \\ M_c &= M_{c,ср} \pm \Delta M_{c,max}; \quad M_T = M_{T,ср} \pm \Delta M_{T,max}; \quad \varepsilon = \varepsilon_{ср} \pm \Delta\varepsilon_{max}, \end{aligned} \quad (8.2)$$

где $\omega_{ср}$, $t_{ср}$, $J_{\Sigma ср}$, $M_{с,ср}$, $M_{т,ср}$ и $\varepsilon_{ср}$ средние значения параметров; $\Delta\omega$, Δt , ΔJ , ΔM_c , ΔM_t и $\Delta\varepsilon_{MAX}$ - отклонения от средних значений параметров.

Пределы перемещения можно представить аналогично:

$$\varphi = \varphi_{ср} \pm \Delta \varphi_{max}, \quad (8.3)$$

где $\varphi_{ср}$ — средний путь при точном останове; $\Delta\varphi_{MAX}$ — максимальная ошибка позиционирования или максимальная неточность останова.

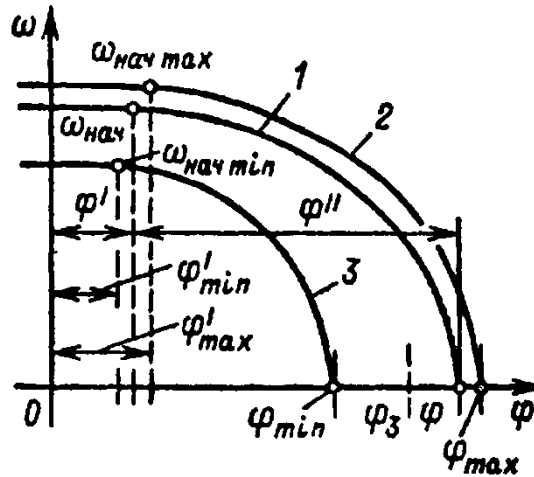


Рис. 8.1. Зависимости $\omega=f(\varphi)$ в процессе точного останова электропривода

Как показано на рис. 8.1, ДТО должен устанавливаться на расстоянии $\varphi_з = \varphi_{ср}$, там же кривые 2 и 3 дают представления о зависимостях $\omega = f(\varphi)$ при сочетаниях параметров, соответствующих наибольшей ошибке позиционирования.

С помощью (8.2) можно определить по (8.1) наибольший путь при точном останове

$$\varphi_{max} = (\omega_{ср} + \Delta \omega_{max}) (t_{ср} + \Delta t_{max}) + \frac{(J_{\Sigma ср} + \Delta J_{max}) (\omega_{ср} + \Delta \omega_{max})^2}{2 (M_{дин,ср} - \Delta M_{дин max})} \quad (8.4)$$

и его наименьшее значение

$$\varphi_{min} = (\omega_{ср} - \Delta \omega_{max}) (t_{ср} - \Delta t_{max}) + \frac{(J_{\Sigma ср} - \Delta J_{max}) (\omega_{ср} - \Delta \omega_{max})^2}{2 (M_{дин,ср} + \Delta M_{дин max})}, \quad (8.5)$$

причем в (8.4) и (8.5) обозначено $M_{дин,ср} = M_{с,ср} + M_{т,ср}$ и $\Delta M_{дин, max} = \Delta M_{с, max} + \Delta M_{т, max}$. Эти выражения позволяют получить среднее значение пути, проходимого электроприводом в процессе точного останова:

$$\varphi_{ср} = \frac{\varphi_{max} + \varphi_{min}}{2} = \varphi'_{ср} + \varphi''_{ср} = \omega_{ср} t_{ср} \left(1 + \frac{\Delta \omega_{max}}{\omega_{ср}} \frac{\Delta t_{max}}{t_{ср}} \right) + \frac{J_{\Sigma ср} \omega_{ср}^2}{2 M_{дин,ср}} \frac{1 + 2 \frac{\Delta \varepsilon_{max}}{\varepsilon_{ср}} \frac{\Delta \omega_{max}}{\omega_{ср}} + \left(\frac{\Delta \omega_{max}}{\omega_{ср}} \right)^2}{1 - (\Delta \varepsilon_{max} / \varepsilon_{ср})^2}. \quad (8.6)$$

Максимальная неточность останова

$$\Delta\varphi_{max} = \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{2} = \frac{\varphi'_{cp}}{1 + \frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} \frac{\Delta t_{max}}{t_{cp}}} \times \left(\frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} + \frac{\Delta t_{max}}{t_{cp}} \right) + \frac{2 \frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} + \frac{\Delta\varepsilon_{max}}{\varepsilon_{cp}} \left[1 + \left(\frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} \right)^2 \right]}{1 + 2 \frac{\Delta\varepsilon_{max}}{\varepsilon_{cp}} \frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} + \left(\frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} \right)^2}. \quad (8.7)$$

Анализ (8.7) свидетельствует о том, что максимальная неточность останова тем больше, чем больше средний путь при останове и чем больше относительные отклонения всех факторов, от которых он зависит, от соответствующих средних значений. Так как относительные отклонения в (8.6) и (8.7) значительно меньше единицы, то можно пренебречь их произведениями и квадратами, при этом (8.7) можно с некоторым ущербом для точности представить в значительно более удобном для пользования виде:

$$\Delta\varphi_{max} = \omega_{cp} t_{cp} \left(\frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} + \frac{\Delta t_{max}}{t_{cp}} \right) + \frac{J_{\Sigma cp} \omega_{cp}^2}{2M_{дин, cp}} \times \left(2 \frac{\Delta\omega_{max}}{\omega_{cp}} + \frac{\Delta M_{дин, max}}{M_{дин, cp}} + \frac{\Delta J_{\Sigma max}}{J_{\Sigma cp}} \right). \quad (8.8)$$

• Выражение (8.8) показывает, что наиболее существенно ошибка позиционирования зависит от средней начальной скорости и от ее отклонений от среднего значения. Поэтому из (8.8) следует, что основным фактором, вызывающим неточность останова, являются изменения нагрузки электропривода, так как они непосредственно сказываются на значении динамического момента $M_{дин}$ и при данной жесткости механической характеристики электропривода определяют основное отклонение начальной скорости от среднего значения, обусловленное изменениями нагрузки, $\Delta\omega_{MAX} = \Delta M_{C, MAX} / \beta$. Изменения нагрузки в большинстве случаев связаны с одновременным изменением суммарного приведенного момента инерции электропривода J_{Σ} . При данных пределах изменения статической нагрузки и известных t_{cp} и Δt_{MAX} основным средством уменьшения ошибки позиционирования является снижение средней скорости электропривода при подходе в ДТО и увеличение жесткости механической характеристики, соответствующей работе двигателя с этой пониженной скоростью. Для получения формулы, связывающей требуемую среднюю пониженную скорость и жесткость механической характеристики с допустимой неточностью останова, примем в (8.8) $\Delta\varphi_{MAX} = \Delta\varphi_{MAX, доп}$, где $\Delta\varphi_{MAX, доп}$ — допустимая ошибка позиционирования, определяемая технологическими требованиями к электроприводу. При этом получается квадратное уравнение

$$\omega_{cp}^2 + 2k_{11}\varepsilon_{cp}t_{cp}\omega_{cp} - 2k_{12}\varepsilon_{cp}\Delta\varphi_{max доп} = 0,$$

решение которого дает следующее выражение для допустимой средней остановочной скорости:

$$\omega_{cp} = \sqrt{k_{11}^2 \varepsilon_{cp}^2 t_{cp}^2 + 2k_{12} \varepsilon_{cp} \Delta\varphi_{max доп}} - k_{11} \varepsilon_{cp} t_{cp}, \quad (8.9)$$

$$\text{где } k_{11} = \frac{\Delta\omega_{max}/\omega_{cp} + \Delta t_{max}/t_{cp}}{2\Delta\omega_{max}/\omega_{cp} + \Delta J_{max}/J_{\Sigma cp} + \Delta M_{дин, max}/M_{дин, cp}};$$

$$k_{12} = \frac{k_{11}}{-\Delta\omega_{max}/\omega_{cp} + \Delta t_{max}/t_{cp}}$$

При заданной допустимой неточности останова $\Delta\varphi_{MAX, доп}$ каждое значение жесткости механической характеристики и соответствующее этой жесткости значение $\Delta\omega_{MAX}/\omega_{cp}$ определяют по выражению (8.9) требуемое значение средней остановочной скорости ω_{cp} .

Задаваясь значениями $\Delta\omega_{MAX}/\omega_{cp}$, можно получить пары значений ω_{cp} и $\Delta\omega_{MAX}/\omega_{cp} = \Delta M_{C, MAX} / \beta \omega_{cp}$, которые определяют статические механические характеристики электропривода, обеспечивающие заданную точность позиционирования. Эти характеристики представлены на рис. 8.2.

Таким образом, рассматриваемый способ управления положением может обеспечить любую требуемую точность останова рабочего органа механизма в заданные позиции при правильном выборе средней остановочной скорости ω_{cp} и обеспечении высокой точности стабилизации этой скорости. Это означает, что требование автоматического точного останова электропривода определяет необходимый диапазон регулирования скорости электропривода $D = \omega_{ном} / \omega_{cp}$ при заданных пределах изменения нагрузки и других возмущающих факторов.

Важным достоинством рассматриваемого способа является простота реализации, однако при высоких требованиях к точности останова и большом диапазоне регулирования, требуемом для получения этой точности, процесс точного позиционирования может при определенных условиях недопустимо затягиваться и снижать производительность позиционного механизма.

Указанные условия определяются динамическими свойствами электропривода в процессе замедления электропривода от рабочей скорости $\omega_{CP.HOM}$ до пониженной остановочной скорости ω_{CP} .

На рис. 8.3 показаны зависимости $\omega=f(\varphi)$ при двух нагрузках электропривода $M_c=M_{c.max}$ и $M_c=M_{c.min}$ соответствующие как процессу точного останова, так и предшествующему процессу замедления.

Кривые построены в предположении, что при любой нагрузке процессы замедления протекают при неизменном тормозном моменте двигателя $M = M_{max} = const$. Тогда ускорение электропривода в этом процессе будет зависеть от нагрузки:

$$\epsilon = - (M_{max} + M_c) / J_{\Sigma}$$

причем наименьшей нагрузке на валу $M_{c.min}$ соответствует и наименьшее по абсолютному значению ускорение. При $M_c=M_{c.min}$ начальная рабочая скорость при ограниченной жесткости механических характеристик электропривода максимальна: $\omega_p=\omega_{p.MAX}$ путь, проходимый электроприводом за

время снижения скорости от $\omega_{p.MAX}$ до $\omega_{нач.MAX}$ при минимальном ускорении ϵ_{MIN} , также имеет максимальное значение $\varphi_{зам.MAX}$. Датчик импульса замедления (ДИЗ), дающий команду на замедление, устанавливается от ДТО на расстоянии $1,1 \varphi_{зам.MAX}$ поэтому, как показано на рис. 8.3, при $M_c = M_{c.min}$ электропривод на пониженной скорости $\omega_{нач.MAX}$ проходит весьма небольшой отрезок пути и время дотягивания к ДТО невелико. При $M_c=M_{c.max}$ $\omega_p=\omega_{p.MIN}$ соответственно

$\varphi_{зам}=\varphi_{зам.min} \ll 1,1\varphi_{зам.MAX}$. Как следствие, большой отрезок пути $\Delta\varphi_{зам}=1,1\varphi_{зам.MAX}-\varphi_{зам.min}$ электропривод проходит на пониженной скорости $\omega_{нач.MIN}$ время дотягивания при $\omega_{нач.MIN} < \omega_{p.MIN}$ оказывается значительным и соизмеримым с общим временем, требующимся для перемещения механизма из исходного рабочего положения в заданное.

Рассматривая рис. 8.3, можно заключить, что время дотягивания при любых нагрузках может быть сведено к минимуму, если устранить статическую ошибку регулирования скорости и сформировать стабильную зависимость $\omega=f(t)$ в процессе замедления, инвариантную относительно нагрузки. Поэтому при большом диапазоне регулирования скорости, требуемом по условиям точного останова, возникает необходимость использования замкнутых систем регулирования скорости в системе УП—Д с достаточно высокими показателями качества и точности регулирования как в статических, так и в динамических режимах.

Однако даже при применении этой совершенной системы, с точки зрения регулирования положения, электропривод при рассмотренном способе точного позиционирования ведет себя как разомкнутая система, в которой изменения всех факторов, влияющих на путь, проходимый при точном останове, непосредственно сказываются на достигаемой точности, а небольшая нестабильность кривой изменения скорости при замедлении может существенно уменьшать быстродействие. Поэтому в наиболее сложных случаях электроприводы позиционных механизмов по системе УП—Д включаются в замкнутую систему автоматического регулирования положения по отклонению.

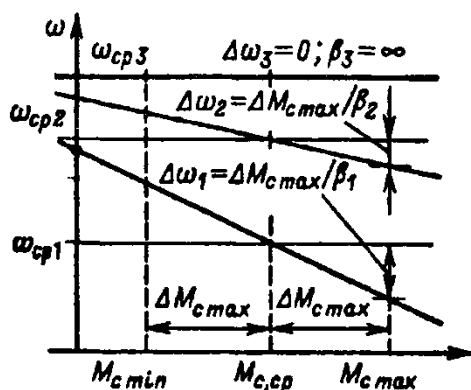


Рис. 8.2. Механические характеристики, обеспечивающие требуемую точность позиционирования

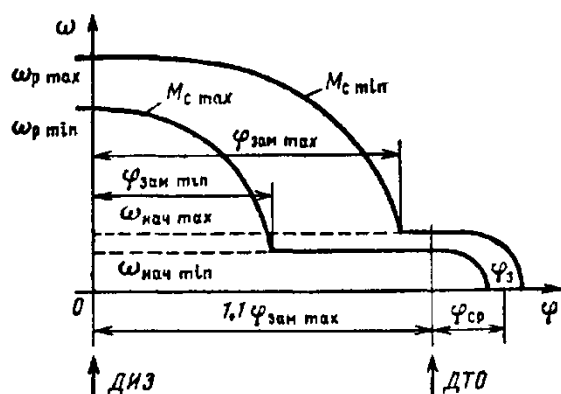


Рис. 8.3. Зависимости $\omega=f(\varphi)$ в процессе замедления до пониженной скорости и точного останова электропривода

3.6. Выбор типа системы электропривода при позиционировании.

Автоматическое регулирование положения требует измерения углового или линейного перемещения рабочего органа механизма и использования устройств, задающих эти перемещения.

В простейшем варианте автоматическое регулирование положения предусматривается лишь на участках движения в районе заданных рабочих позиций, а на основной части пути перемещения от позиции к позиции система по выходной координате разомкнута. Этот вариант позволяет использовать индуктивные датчики ошибки позиционирования, вырабатывающие сигнал, пропорциональный отклонению рабочего органа от заданного положения. Датчики подключаются в зоне точного останова. Они обеспечивают автоматическое регулирование положения по отклонению от заданной точки пути с требуемой точностью.

При необходимости обработки дозированных перемещений, задаваемых на входе системы скачком, или при осуществлении программного управления перемещением рабочего органа механизма необходим постоянный контроль текущего положения, осуществляемый датчиками углового или линейного перемещения непрерывного или дискретного действия.

В данной главе ограничимся рассмотрением электроприводов постоянного тока, механическая часть которых с удовлетворительной точностью может быть представлена жестким механическим звеном, приведенным к валу двигателя. Для электроприводов позиционных механизмов кроме регулирования положения обычно требуются регулирование скорости и ограничение тока якоря в переходных процессах допустимым значением $I_{я} = I_{стоп}$. Поэтому в качестве объекта регулирования положения примем однократно интегрирующую систему регулирования скорости в системе ТП—Д с подчиненным контуром регулирования тока. Дополнив ее интегрированием скорости ω для получения перемещения φ , введя обратную связь по положению с коэффициентом усиления $k_{o,п}$ и включив на вход регулятор положения, получим трехконтурную систему регулирования положения, структурная схема которой приведена на рис. 8.4.

Осуществим оптимизацию контура регулирования положения методом последовательной коррекции, определив необходимую для этой цели передаточную функцию регулятора положения. В соответствии с рис. 8.4 объект регулирования положения в данном случае имеет следующую передаточную функцию:

$$W_{o,p,п} = W_{зам,c} \frac{1}{p} = \frac{1/k_{o,c}}{a_c a_T T_{\mu} p + 1} \frac{1}{p}. \quad (8.10)$$

Для получения передаточной функции разомкнутого контура регулирования положения вида

$$W_{раз,п} = \frac{1/k_{o,п}}{a_n a_c a_T T_{\mu} p (a_c a_T T_{\mu} p + 1)}$$

регулятор положения должен иметь **передаточную** функцию

$$W_{p,п} = \frac{k_{o,c}}{k_{o,п} a_n a_c a_T T_{\mu}} = k_{p,п,о}. \quad (8.11)$$

Передаточная функция замкнутого контура регулирования положения

$$W_{зам,п} = \frac{1/k_{o,п}}{a_n a_c a_T T_{\mu} p (a_c a_T T_{\mu} p + 1) + 1}. \quad (8.12)$$

Проведем качественный анализ работы синтезированной системы регулирования положения при различных условиях. Сначала будем полагать, что система автоматического регулирования положения замыкается при подходе к зоне точного останова электропривода в целях увеличения точности позиционирования.

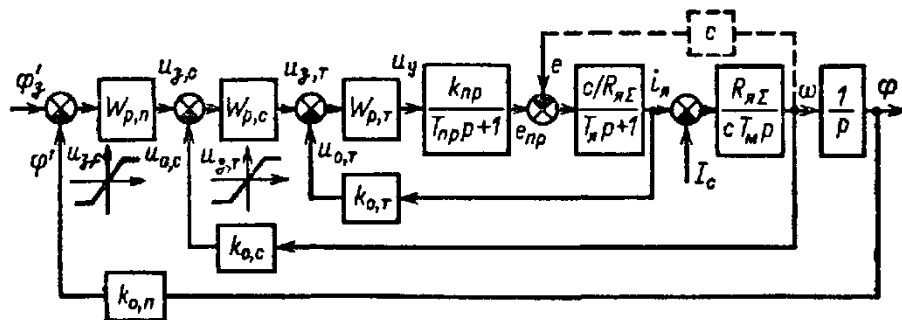


Рис. 8.4. Структурная схема системы автоматического регулирования положения

В момент замыкания системы электропривод движется с начальной установившейся скоростью $\omega_{нач}$ и датчик положения выдает сигнал ошибки $\Delta \varphi_{нач}$ равный расстоянию от начальной точки до заданной позиции φ_3^* . При настройке контура на критическое демпфирование ($a_{п1}=4$) и отсутствии статической нагрузки ($M_c = 0$) переходный процесс точного позиционирования будет иметь характер, показанный на рис. 8.5, д. На этом

рисунке приведены зависимости $\Delta\varphi$, ω и $i_{\text{я}} = f(t)$, соответствующие сформулированным начальным условиям. Для анализа этих зависимостей обратим внимание на то, что выходное напряжение регулятора положения в данной схеме представляет собой сигнал задания скорости

$$k_{\text{р,п}}\Delta\varphi' = U_{\text{з,с}} = k_{\text{о,с}}\omega_3. \quad (8.13)$$

С помощью (8.13) можно определить задаваемый на входе контура регулирования скорости темп замедления в процессе обработки сигнала ошибки $\Delta\varphi'$:

$$\frac{d\omega_3}{dt} = \frac{k_{\text{р,п}}}{k_{\text{о,с}}} \frac{d}{dt} (\varphi'_3 - \varphi') = \frac{k_{\text{р,п}}k_{\text{о,п}}}{k_{\text{о,с}}} \omega. \quad (8.14)$$

Таким образом, задаваемое регулятором положения максимальное ускорение электропривода в процессе замедления тем больше, чем больше начальная скорость $\omega_{\text{нач}}$. Так как $\omega_{\text{нач}} \approx \omega_{\text{з,нач}}$ то из (8-13) следует, что при данном коэффициенте усиления $k_{\text{р,п}}$, определяемом (8.11), максимальное ускорение в процессе замедления возрастает с возрастанием обрабатываемого перемещения $\Delta\varphi'_{\text{нач}}$.

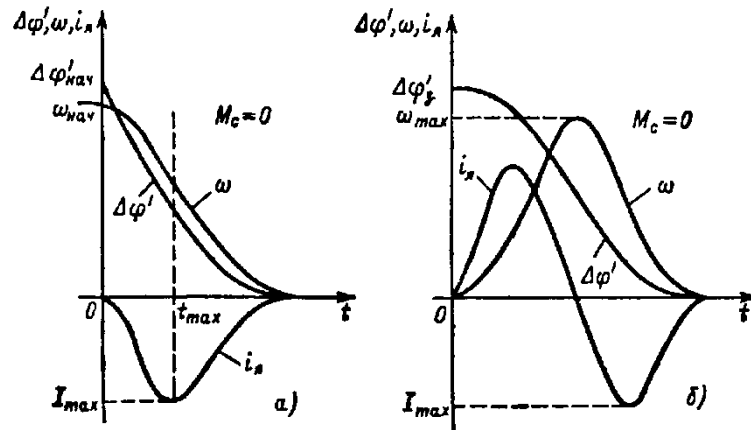


Рис. 8.5. Процессы точного позиционирования в замкнутой системе регулирования положения

Соответственно возрастает и максимальный ток якоря I_{MAX} , который в соответствии с уравнением движения равен:

$$I_{\text{max}} = \frac{1}{c} \left[J_{\Sigma} \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{\text{max}} + M_c \right]. \quad (8.15)$$

До тех пор пока задаваемое перемещение при замыкании системы невелико и $I_{\text{MAX}} < I_{\text{стоп}}$ система остается линейной, обеспечивая требуемое качество регулирования. Если $\Delta\varphi'_{\text{нач}}$ и соответственно $\omega_{\text{з,нач}}$ и $\omega_{\text{нач}}$ настолько велики, что $I_{\text{MAX}} > I_{\text{стоп}}$, регулятор скорости переходит на насыщенный участок своей характеристики, выдавая $U_{\text{з.т}} = U_{\text{з.т,max}} = k_{\text{о,т}}I_{\text{стоп}} = \text{const}$, система регулирования положения размыкается, и идет процесс замедления с $i_{\text{я}} \approx I_{\text{стоп}} = \text{const}$. Так как ускорение, соответствующее стопорному моменту, меньше задаваемого, накапливается дополнительная ошибка регулирования положения, которая в конце процесса обрабатывается с перерегулированием.

Из изложенного следует, что оптимизированный контур регулирования положения ($k_{\text{р,п}} = k_{\text{р,п,о}}$) требует ограничения обрабатываемого перемещения и ограничения начальной скорости в момент замыкания системы допустимыми значениями, при которых ток якоря в процессе замедления не достигает стопорного значения. Определим с помощью (8.14) и (8.15) допустимое значение скорости электропривода в момент максимума тока якоря $t_{\text{max}}(d\omega_3/dt = -\varepsilon_{\text{тmax}})$:

$$\omega_{\text{max доп}} = \frac{k_{\text{о,с}}\varepsilon_{\text{тmax}}}{k_{\text{р,п,о}}k_{\text{о,п}}} = \frac{k_{\text{о,с}}}{k_{\text{р,п,о}}k_{\text{о,п}}} \frac{cI_{\text{стоп}} + M_c}{\beta_c T_m}. \quad (8.16)$$

Кроме того, если примем время нарастания тока до максимума $t_{\text{MAX}} \approx 2a_{\text{т}}T_{\text{м}}$, получим

$$\omega_{\text{max доп}} = \omega_{\text{нач, доп}} - \varepsilon_{\text{тmax}} t_{\text{max}}/2 = \omega_{\text{нач, доп}} - a_{\text{т}}\varepsilon_{\text{тmax}} T_{\text{м}}. \quad (8.17)$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \omega_{\text{нач, доп}} &= \frac{k_{\text{о,с}}}{k_{\text{р,п,о}}k_{\text{о,п}}} \frac{cI_{\text{стоп}} + M_c}{\beta_c T_m} \left(1 + \frac{k_{\text{р,п,о}}k_{\text{о,п}}a_{\text{т}}T_{\text{м}}}{k_{\text{о,с}}} \right) = \\ &= \frac{a_{\text{п}}a_{\text{с}}a_{\text{т}}T_{\text{м}}}{\beta_c T_m} (cI_{\text{стоп}} + M_c) \left(1 + \frac{1}{a_{\text{п}}a_{\text{с}}} \right). \end{aligned} \quad (8.18)$$

Таким образом, и при использовании для увеличения точности позиционирования автоматического регулирования положения в зоне точного останова для нормального функционирования системы необходимо снижать скорость при подходе к этой зоне до значения, определяемого (8.18). Из (8.18) следует, что тормозной момент нагрузки увеличивает допустимое значение начальной скорости, поэтому, если нагрузка изменяется в широких пределах, эту скорость нужно определять по минимальному значению M_d .

Аналогичные условия складываются и в тех случаях, когда система регулирования положения предусматривается для отработки различных дозированных перемещений, задаваемых на входе системы. В этом случае цикл перемещения начинается при нулевых начальных условиях и, как показано на рис. 8.5, б, состоит из участка ускорения электропривода до скорости ω_{max} и участка замедления его с остановом в заданной точке пути. Чем больше заданное перемещение $\Delta\varphi^3$, тем больше максимум тока при пуске, тем больше максимум скорости ω_{max} и тем больше максимальный ток в процессе замедления I_{max} . Поэтому и здесь оптимальные динамические свойства системы регулирования положения сохраняются только в пределах тех задаваемых перемещений $\Delta\varphi^3$, при которых в процессах замедления она остается линейной ($I_{MAX} < I_{стоп}$). При этом ω_{MAX} оказывается значительно меньше номинальной рабочей скорости $\omega_{ном}$, следовательно, ограничить $U_{з,с}$ значением $k_{о,с}\omega_{MAX}$ в данном случае нельзя.

Избежать дополнительного перерегулирования при торможении с максимальной рабочей скорости $\omega_{р,MAX}$ можно, подобрав такой коэффициент усиления регулятора положения, при котором в момент перехода на торможение в соответствии с (8.13) задается номинальная рабочая скорость электропривода при рассогласовании, равном максимальному пути торможения со скорости $\omega_{ном}$ при $|\varepsilon| = \varepsilon_{max} = const$:

$$\Delta\varphi'_{т max}/k_{о,п} = \omega_{ном}^2/2\varepsilon_{т max} \quad (8.19)$$

Подставив (8.19) в (8.13), разрешим полученное уравнение относительно $k_{р,п}=k_{р,п1}$

$$k_{р,п1} = 2k_{о,с}\varepsilon_{т max}/k_{о,п}\omega_{ном} \quad (8.20)$$

Выбор коэффициента усиления регулятора положения по условию (8.20) позволяет получить удовлетворительное качество регулирования при задании перемещений, которым соответствует начальная скорость при торможении, равная $\omega_{ном}$. Однако при отработке перемещений, при которых начальная скорость при торможении оказывается меньше $\omega_{ном}$, процессы торможения сопровождаются дотягиванием, причем их длительность остается такой же, как и при отработке больших перемещений. В связи с этим для подобных электроприводов используют регулятор положения с параболической характеристикой.

Целесообразность такого решения можно обнаружить, анализируя (8.14). По-видимому, дополнительные ошибки при ограничении тока не накапливались бы в том случае, если бы задаваемый регулятором положения темп торможения $d\omega_z/dt$ был равен максимальному ускорению $\varepsilon_{т max}$ и оставался постоянным на всем участке торможения с $I_{я} \approx I_{стоп}$. В соответствии с (8.14) то возможно, если коэффициент усиления регулятора положения $k_{р,п}$ изменялся бы обратно пропорционально ω :

$$k_{р,п} = k_{о,с}\varepsilon_{т max}/k_{о,п}\omega \quad (8.21)$$

В процессе замедления с постоянным ускорением $\varepsilon_{т max}$ скорость ω связана с рассогласованием аналогично (8.19):

$$\Delta\varphi'/k_{о,п} \approx \omega^2/2\varepsilon_{т max} \quad (8.22)$$

Определив из (8.22) ω и подставив это выражение в (8.21), получим

$$k_{р,п} = k_{о,с}\varepsilon_{т max}/\sqrt{2\varepsilon_{т max}\Delta\varphi'k_{о,п}} \quad (8.23)$$

Выходное напряжение регулятора положения $U_{з,с}$ с входным сигналом рассогласования $\Delta\varphi'$ должно быть связано соотношением

$$U_{з,с} = k_{о,с}\omega \approx k_{о,с}\sqrt{\frac{2\varepsilon_{т max}\Delta\varphi'}{k_{о,п}}} = k\sqrt{\Delta\varphi'} \quad (8.24)$$

Зависимость $U_{з,с} = f(\Delta\varphi')$, соответствующая (8.24) представлена на рис. 8.6 (кривая 1). При $\Delta\varphi' = \Delta\varphi'_{т max}$ коэффициент $k_{р,п}$ имеет значение

$$k_{р,п min} = \frac{k_{о,с}\varepsilon_{т max}}{k_{о,п}\omega_{ном}} \quad (8.25)$$

в 2 раза меньше, чем **при** линейном регуляторе с коэффициентом усиления $k_{р,п1}$ (8.20).

На рис. 8.6 показаны характеристики регулятора, соответствующие (8.20) — прямая 2 и (8.25) — прямая 3, причем показано ограничение заданного значения скорости $U_{р,с max} = k_{о,с}\omega_{ном}$.

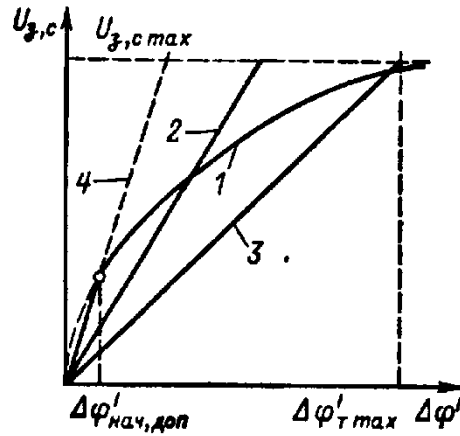


Рис. 8.6. Характеристики регулятора положения

Уменьшение $\Delta\varphi'$ в соответствии с (8.23) приводит к увеличению коэффициента регулятора вплоть до оптимального значения, определяемого (8.11). Это значение имеет место при $\Delta\varphi' = \Delta\varphi'_{нач,доп}$, и ему соответствует характеристика 4 на рис. 8.6. В этом можно убедиться, подставив в (8.21) значения $\omega = \omega_{мах,доп}$ из (8.16). При дальнейшем уменьшении $\Delta\varphi' < \Delta\varphi'_{нач,доп}$ увеличение $k_{р,п}$ по (8.23) привело бы к увеличению колебательности. Поэтому нелинейная зависимость $U_{з,с} = f(\Delta\varphi')$ имеет вид жирной кривой 1, которая при $\Delta\varphi' < \Delta\varphi'_{нач,доп}$ совпадает с прямой 4, при $\Delta\varphi'_{нач,доп} < \Delta\varphi' < \Delta\varphi'_{т,мах}$ определяется (8.23), при $\Delta\varphi' > \Delta\varphi'_{т,мах}$ ограничена значением $U_{з,с,мах} = const$.

Для рассмотренных систем основным требованием, предъявляемым к электроприводу в отношении точности регулирования, является требование ограничения статической ошибки позиционирования заданным допустимым значением. В связи с наличием интегральной составляющей передаточной функции регулятора тока в установившемся режиме напряжение на его входе равно нулю:

$$k_{р,п}k_{р,с}\Delta\varphi'_c - k_{о,т}I_c = 0. \quad (8.26)$$

Следовательно, статическая ошибка позиционирования

$$\Delta\varphi'_c = \frac{k_{о,т}I_c}{k_{р,п}k_{р,с}} = \frac{k_{о,т}M_c}{k_{р,п}k_{р,с}c}. \quad (8.27)$$

Подставив в (8.26) выражения $k_{р,с}$ из (7.39) и $k_{р,п} = k_{р,п0}$ из (8.11), получим статическую ошибку в оптимизированной системе

$$\Delta\varphi'_{с0} = \frac{k_{о,п}a_{п}a_{т}^2a_{с}^2T_{\mu}^2R_{\Sigma}}{c^2T_{м}} M_c \quad (8.28)$$

Если коэффициент усиления регулятора $k_{р,п} = k_{р,п1}$ (8.20), ошибка позиционирования возрастает во столько раз, во сколько $k_{р,п1}$ меньше $k_{р,п0}$ (рис. 8.6):

$$\Delta\varphi'_{с1} = \Delta\varphi'_{с0} \omega_{ном} / 2\omega_{мах,доп}. \quad (8.29)$$

Необходимость использования регулятора положения с нелинейной характеристикой может быть исключена при любых помещениях путем задания на входе системы требуемого закона $\varphi'_3 = f(t)$, при обработке которого система остается во всех режимах линейной. Для подобных систем автоматического программного регулирования положения характерны более высокие требования к динамической точности регулирования, которые аналогичны требованиям к следящему электроприводу, особенности которого кратко рассмотрены ниже.

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Регулировочные характеристики электропривода вентилятора в системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	6	Работа в малых группах (1 час)*
2	2.	Изучение специальных функций преобразователя частоты ATV312	5	Работа в малых группах (1 час)*
3	2.	Экспериментальное определение характеристик «Давление-Расход» вентиляционной системы	5	
4	2.	Исследование частотного регулирования электропривода насоса при законах $U/f=\text{const}$, $U/f^2=\text{const}$	6	
5	2.	Исследование динамических режимов электропривода насоса	6	-
6	2.	Настройка и исследование системы автоматического регулирования расхода с применением метода частотного регулирования привода насоса	6	-
ИТОГО			34	4

* – заочная (ускоренное обучение)

4.4. Семинары / практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
			<i>2</i>	<i>7</i>				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	
1. Классификация типовых производственных механизмов		19	+	+	2	9,5	Лк, СРС	Экзамен
2. Электроприводы механизмов непрерывного действия		58	+	+	2	29	Лк, ЛР, СРС	Экзамен
3. Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов		22	+	+	2	11	Лк, СРС	Экзамен
<i>всего часов</i>		99	49,5	49,5	2	49,5		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Шакиров В.А. Электрический привод. разработка системы автоматического управления пуском и торможением асинхронного двигателя : методические указания по курсовому проектированию / В.А. шакиров, М.А. Федорова. – Братск : БрГУ, 2011. – 44 с.
2. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь: АГРУС, 2012. - 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520
3. Фролов, Ю. М. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу: учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 368 с.
4. Владимиров Э.В. Электропривод: методические указания / В.В. Владимиров, М.А. Федорова. – Братск: БрГУ, 2005. – 18 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ЛР, ПЗ, кр)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1.	Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. - Москва : Академия, 2007. - 368 с.	Лк, ЛР	75	1
2.	Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. - Москва : РАСХН, 2003. - 320 с	Лк, ЛР	50	1
3.	Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. - Ставрополь: АГРУС, 2012. - 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520	Лк, ЛР	1 (ЭУ)	1
Дополнительная литература				
4.	Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. - М.: Директ-Медиа, 2014. - 710 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238	Лк, ЛР	1 (ЭУ)	1
5.	Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – Москва: Академия, 2004. - 575 с.	Лк	5	0,3
6	Крылов Ю.А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод : учебное пособие / Ю.А. Крылов, А.С. Карандаев, В. Н. Медведев. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 176 с. [Электронный ресурс]. – URL:	Лк	1 (ЭУ)	1

	https://e.lanbook.com/reader/book/10251/#1			
7	Фролов, Ю. М. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу : учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. - Санкт-Петербург : Лань, 2012. - 368 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://e.lanbook.com/reader/book/3185/	Лк	1 (ЭУ)	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение обучающимися учебной дисциплины «Типовой электропривод» рассчитано на один семестр.

Занятия лекционного типа

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы. В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала;
- обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых во внеаудиторное время можно сделать пометки из учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся, дополняющего материал прослушанной лекции, а также пометки, подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематически отдельные темы курса взаимосвязаны между собой. В случаях пропуска занятия обучающемуся необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме

во время индивидуальных консультаций.

Лабораторные занятия

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать все указания преподавателя или учебно-вспомогательного персонала. Перед работой необходимо ознакомиться с методическими указаниями, оформить необходимые таблицы в тетради. После всех произведенных расчетов и выполненных графиков необходимо оформить отчет.

Самостоятельная работа. Подготовка к занятиям лекционного типа

Важной частью самостоятельной работы является умение выделить основополагающие, отправные точки в понимании материала. Особо важную роль в этом процессе необходимо уделить конспекту лекций, в котором преподаватель сформировал «скелет», структуру раздела дисциплины. Чтением учебной и научной литературы обучающийся углубляет и расширяет знания о предмете изучения. Основная функция учебников – ориентировать студента в системе знаний, умений и навыков, которые должны быть усвоены будущими специалистами по данной дисциплине. Подготовка к занятиям лекционного типа подразумевает приобретение обучающимся первичных знаний по теме лекции для подготовки к структуризации объекта изучения, которую преподаватель выполняет на лекции. Изучение материала по теме лекции имеет цель уточнения отдельных моментов. Перед лабораторной работой обучающийся подготавливает заготовку отчета, выполняя конспект теоретического материала по методической литературе с учетом рекомендаций преподавателя.

Самостоятельная работа. Подготовка к экзамену

Подготовка к экзамену предполагает:

- изучение основной и дополнительной литературы;
- изучение конспектов лекций;
- изучение отчетов по лабораторным работам.

Перечень вопросов к экзамену представлен в приложении 1 п. 2. Баллы за экзамен выставляются по критериям, представленным в приложении 1 п. 3.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

Лабораторная работа №1

Регулировочные характеристики электропривода вентилятора в системе «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Цель работы:

Исследование характеристик системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» при различных законах скалярного управления и работе электродвигателя на вентиляционную нагрузку.

Задание:

1. Построить регулировочные характеристики системы при линейном законе регулирования и замкнутых воздушных заслонках.
2. Построить регулировочные характеристики системы при линейном законе регулирования и разомкнутых воздушных заслонках.
3. Построить регулировочные характеристики системы при квадратичном законе регулирования и замкнутых воздушных заслонках.
4. Построить регулировочные характеристики системы при квадратичном законе регулирования и разомкнутых воздушных заслонках.

Порядок выполнения:

Для построения регулировочных характеристик системы при линейном законе регулирования и замкнутых воздушных заслонках необходимо

1. Подать питание на шкаф управления.
2. Подать разрешение на работу преобразователя частоты.
3. Потенциометром аналогового задания увеличивать частоту напряжения на статоре в диапазоне от 0 до 50 Гц, при этом фиксировать показания измерительных приборов.
4. После занесения в таблицу 7-10 точек перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.
5. Провести расчет выходной мощности преобразователя частоты, электрических потерь в статорной цепи двигателя, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД и коэффициента мощности двигателя, КПД и коэффициента мощности системы. Данные расчетов и приборов свести в таблицу вида:

Таблица 1.1

Опыт	n, об/мин							
	U_c , В							
	I_c , А							
	f_c , Гц							
	M_B , %							
	$P_{сети}$, Вт							
	$S_{сети}$, ВА							
	$Q_{сети}$, Вар							
Расчет	ω , 1/с							
	S_c , ВА							
	$\Delta P_{эл}$, Вт							
	P_B , Вт							
	$\eta_{ад}$, %							
	$\eta_{пч-ад}$, %							
	$\cos\varphi_{ад}$							
	$\cos\varphi_{ад-пч}$							

Для построения регулировочных характеристик системы при линейном законе регулирования и разомкнутых воздушных заслонках необходимо

1. Подать питание на шкаф управления.
2. Потенциометром RP2, расположенном на элементе «управление задвижкой №1» полностью открыть задвижку №1, переведя потенциометр в крайнее положение.
3. Подать разрешение на работу преобразователя частоты.
4. Потенциометром аналогового задания увеличивать частоту напряжения на статоре в диапазоне от 0 до 50 Гц, при этом фиксировать показания измерительных приборов.
5. После занесения в таблицу 7-10 точек перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.
6. Потенциометром аналогового задания преобразователя частоты установить нулевой сигнал задания.
7. Потенциометром RP2 полностью закрыть задвижку №1.
8. Потенциометром RP1, расположенным на элементе «управление задвижкой №2», полностью открыть задвижку №2.
9. Повторить эксперимент для другого состояния задвижки.
10. Провести расчет выходной мощности преобразователя частоты, электрических потерь в статорной цепи двигателя, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД и коэффициента мощности двигателя, КПД и коэффициента мощности системы. Данные расчетов и приборов свести в таблицу (Таблица 1.1).

Для построения регулировочных характеристик системы при квадратичном законе регулирования и замкнутых воздушных заслонках необходимо

1. Подать питание на шкаф управления.
2. В меню преобразователя частоты выбрать параметр U_{ft} и установить значение P – квадратичный закон управления электродвигателем.
3. Подать разрешение на работу преобразователя частоты.
4. Потенциометром аналогового задания увеличивать частоту напряжения на статоре в диапазоне от 0 до 50 Гц, при этом фиксировать показания измерительных приборов.
5. После занесения в таблицу 7-10 точек перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.
6. Провести расчет выходной мощности преобразователя частоты, электрических потерь в статорной цепи двигателя, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД и коэффициента мощности двигателя, КПД и коэффициента мощности системы. Данные расчетов и приборов свести в таблицу (Таблица 1.1).

Для построения регулировочных характеристик системы при квадратичном законе регулирования и разомкнутых воздушных заслонках необходимо

1. Подать питание на шкаф управления.
2. В меню преобразователя частоты выбрать параметр U_{ft} и установить значение P – квадратичный закон управления электродвигателем.
3. Потенциометром RP2, расположенном на элементе «управление задвижкой №1» полностью открыть задвижку №1, переведя потенциометр в крайнее положение.
4. Подать разрешение на работу преобразователя частоты.
5. Потенциометром аналогового задания увеличивать частоту напряжения на статоре в диапазоне от 0 до 50 Гц, при этом фиксировать показания измерительных приборов.
6. После занесения в таблицу 7-10 точек перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.
7. Потенциометром аналогового задания преобразователя частоты установить нулевой сигнал задания.
8. Потенциометром RP2 полностью закрыть задвижку №1.
9. Потенциометром RP1, расположенным на элементе «управление задвижкой №2», полностью открыть задвижку №2.
10. Повторить эксперимент для другого состояния задвижки.
11. Провести расчет выходной мощности преобразователя частоты, электрических потерь в статорной цепи двигателя, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД и коэффициента мощности двигателя, КПД и коэффициента мощности системы. Данные расчетов и приборов свести в таблицу (Таблица 1.1).

Форма отчетности:

Отчет может быть сформирован в письменном виде или в текстовом редакторе на персональном компьютере. Отчет должен быть выполнен на листах формата А4.

В отчете должны присутствовать:

1. Задание
2. Цель работы
3. Таблицы с результатами экспериментов и расчетами параметров.
4. Регулировочные характеристики для 4 этапов работы.
5. Выводы по работе

Задания для самостоятельной работы:

Изучить принципы работы преобразователя частоты

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. –

Москва : Академия, 2007. – 368 с.

2. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – Москва : РАСХН, 2003. – 320 с.

3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520

Дополнительная литература

4. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей вы знаете?
2. С какой целью при регулировании частоты вращения изменяются одновременно частота и напряжения на выходе преобразователя?
3. Укажите достоинства и недостатки применения частотного регулирования.
4. Для каких электроприводов предназначен квадратичный закон управления? В чем его достоинства?
5. Почему в электроприводах вентиляционных установок наибольшее распространение получили асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором?
6. Назовите основные законы частотного регулирования.
7. Какие существуют способы повышения качества характеристик при скалярном регулировании.

Лабораторная работа №2

Изучение специальных функций преобразователя частоты ATV312

Цель работы:

Исследование специальных функций преобразователя частоты, позволяющих улучшить потребительские свойства вентиляторной установки.

Задание:

1. Изучить работу преобразователя частоты в режиме ослабления поля.
2. Получить регулировочные характеристики системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» при различных частотах коммутации вентилялей.
3. Исследовать возможности управления пуском и торможением электропривода.

Порядок выполнения:

Для изучения работы преобразователя частоты в режиме ослабления поля необходимо:

1. Подать питание на шкаф управления.
2. В меню преобразователя частоты установить значение частоты 60 Гц.
3. Потенциометром аналогового задания увеличивать частоту напряжения на статоре в диапазоне от 0 до момента, когда измеритель скорости уйдет в насыщение и будет показывать максимальную скорость, при этом фиксировать показания измерительных приборов (не менее 7 точек).
4. Перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.
5. Провести расчет выходной мощности преобразователя частоты, электрических потерь в статорной обмотке, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД двигателя, коэффициента мощности двигателя, КПД системы

и коэффициента мощности системы (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Опыт	n, об/мин							
	U_c , В							
	I_c , А							
	f_c , Гц							
	M_B , %							
	$P_{\text{сети}}$, Вт							
	$S_{\text{сети}}$, ВА							
	$Q_{\text{сети}}$, Вар							
Расчет	ω , 1/с							
	S_c , ВА							
	$\Delta P_{\text{эл}}$, Вт							
	P_B , Вт							
	$\eta_{\text{ад}}$, %							
	$\eta_{\text{пч-ад}}$, %							
	$\cos\varphi_{\text{ад}}$							
	$\cos\varphi_{\text{ад-пч}}$							

Для получения регулировочных характеристик системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» при различных частотах коммутации вентилях необходимо:

1. Подать питание на шкаф управления.
2. В меню преобразователя частоты установить значение частоты 50 Гц.
3. В меню преобразователя частоты установить частоту коммутации 8 кГц и подать разрешение на работу преобразователя частоты.
4. Потенциометром аналогового задания увеличивать частоту напряжения на статоре в диапазоне от 0 до 50 Гц, при этом фиксировать показания измерительных приборов (не менее 7 точек).
5. Потенциометром аналогового задания преобразователя частоты установить нулевой сигнал задания, снять разрешение работы преобразователя частоты.
6. Провести расчет выходной мощности преобразователя частоты, электрических потерь в статорной обмотке, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД двигателя, коэффициента мощности двигателя, КПД системы и коэффициента мощности системы (таблица 3.1).
7. В меню преобразователя частоты установить частоту коммутации 12 кГц, подать разрешение на работу преобразователя частоты и повторить шаги 4-6.
8. В меню преобразователя частоты установить частоту коммутации 16 кГц, подать разрешение на работу преобразователя частоты и повторить шаги 4-6.
9. Перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.

Для исследования возможностей управления пуском и торможением электропривода необходимо:

1. При выключенном питании на шкафу управления перевести автоматические выключатели QF1-QF7 во включенное положение.
2. В меню преобразователя частоты установить частоту коммутации 4 кГц,
3. В меню преобразователя частоты установить тип кривых разгона и торможения – линейная.
4. В меню преобразователя частоты установить время разгона 2 с.
5. В меню преобразователя частоты установить время торможения 2 с.
6. Подать разрешение на работу преобразователя частоты.
7. Потенциометром аналогового задания установить частоту напряжения 50 Гц.

8. Переключателем разрешения работы преобразователя частоты отключить разрешение на работу преобразователя частоты и наблюдать на экране ноутбука в программе DeltaProfi переходные процессы тока, напряжения и скорости при торможении электропривода.

9. Повторно подать разрешение на работу преобразователя частоты и наблюдать переходные процессы при пуске.

10. Изменить уставки времени разгона и торможения на 4 с, повторить шаги 7-9.

11. Потенциометром RP1, расположенном на элементе «управление задвижкой №2» полностью открыть задвижку №2.

12. Повторить опыты разгона и торможения, зафиксировать осциллограммы переходных процессов.

13. В меню преобразователя частоты установить тип кривых разгона и торможения – S-образная.

14. Установить значения параметров tA1-tA4.

15. Повторить шаги 4-12.

16. Перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.

Форма отчетности:

Отчет может быть сформирован в письменном виде или в текстовом редакторе на персональном компьютере. Отчет должен быть выполнен на листах формата А4.

В отчете должны присутствовать:

1. Задание
2. Цель работы
3. Таблицы с результатами экспериментов и расчетами параметров.
4. Графики переходных процессов.
5. Выводы по работе

Задания для самостоятельной работы:

Изучить примеры электроприводов, где требуется быстрый разгон или торможение.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. – Москва : Академия, 2007. – 368 с.

2. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – Москва : РАСХН, 2003. – 320 с.

3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL:

https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520

Дополнительная литература

4. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. [Электронный ресурс]. – URL:

https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое режим ослабления поля асинхронного двигателя?
2. Зачем нужен задатчик интенсивности при работе электропривода?
3. Что такое несущая частота преобразователя частоты?

4. Назовите типы задатчиков интенсивности, применяемых в электроприводах? Зачем нужно несколько типов данных устройств?

5. Зачем при пуске в асинхронном электроприводе применяется скачок напряжения?

6. Приведите примеры электроприводов, в которых максимально быстрый разгон приведет к аварийным режимам работы?

Лабораторная работа №3

Экспериментальное определение характеристик «Давление-Расход» вентиляционной системы

Цель работы:

Экспериментальное определение рабочих характеристик вентиляторной установки со стороны воздушного канала.

Задание:

1. Получить характеристики электропривода при постоянной скорости вращения вентилятора.

2. Получить характеристики электропривода при переменной скорости вращения вентилятора.

3. Сравнить экспериментальные и каталожные характеристики

Порядок выполнения:

Для получения характеристик электропривода при постоянной скорости вращения вентилятора необходимо:

1. Подать питание на шкаф управления.

2. Подать сетевое напряжение на электродвигатель.

3. Потенциометром RP1 плавно открывать задвижку №2 от полностью закрытого состояния до полностью открытого, при этом фиксировать положение задвижки и показания измерительных приборов (не менее 7 точек).

4. Потенциометром RP1 закрыть задвижку №2.

5. Потенциометром RP2 плавно открывать задвижку №1 от полностью закрытого состояния до полностью открытого, при этом фиксировать положение задвижки и показания измерительных приборов (не менее 7 точек).

6. При полностью открытой задвижке №1 повторить шаг 3.

7. Перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.

8. Провести расчет выходной мощности и КПД вентилятора для различных положений задвижки при трех конфигурациях вентиляторной системы. Свести данные измерений и расчетов в таблицу (таблица 4.1).

Таблица 4.1

Опыт	n, об/мин							
	U_c , В							
	I_c , А							
	L , м ³ /с							
	P , Па							
	α_1 , град							
	α_2 , град							
	$P_{сети}$, Вт							
	S_c , ВА							
Расчет	ω , 1/с							
	P_B , Вт							
	η_B , %							

Для получения характеристик электропривода при переменной скорости вращения вентилятора необходимо:

1. Перевести управление двигателем в положение «от преобразователя частоты».
2. Подать питание на шкаф управления.
3. Подать разрешение на работу преобразователя частоты.
4. Потенциометром аналогового задания установить скорость вращения двигателя на уровне, соответствующем скорости вращения предыдущего эксперимента.
5. Потенциометром RP1 плавно открывать задвижку №2 от полностью закрытого состояния до полностью открытого, при этом фиксировать положение задвижки и показания измерительных приборов (не менее 7 точек).
6. Потенциометром аналогового задания установить скорость вращения двигателя в два раза меньше и повторить шаг 5.
7. Потенциометром RP1 закрыть задвижку №2.
8. Потенциометром RP2 плавно открывать задвижку №1 от полностью закрытого состояния до полностью открытого, при этом фиксировать положение задвижки и показания измерительных приборов (не менее 7 точек).
9. Потенциометром аналогового задания установить исходную скорость вращения двигателя и повторить шаг 8.
10. Перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.
11. Провести расчет выходной мощности вентилятора, электрических потерь в статорной обмотке двигателя, мощности на валу двигателя, активной выходной мощности преобразователя частоты, КПД вентилятора для различных положений задвижки при трех конфигурациях вентиляторной системы. Данные измерительных приборов и расчетов свести в таблицу (Таблица 4.2).

Таблица 4.2

Опыт	n, об/мин							
	U_c , В							
	I_c , А							
	L , м ³ /с							
	P , Па							
	α_1 , град							
	α_2 , град							
	P_c , Вт							
Расчет	M_B , %							
	ω , 1/с							
	P_B , Вт							
	S_c , ВА							
	$\Delta P_{эл}$, Вт							
	$\Delta P_{вэд}$, Вт							
η_B , %								

Для сравнения экспериментальных и каталожных характеристик необходимо:

1. На основании полученных экспериментальных данных построить опытные характеристики давления в воздуховоде от расхода воздуха.
2. Для оценки качества работы вентиляционной системы сравнить с каталожными характеристиками.

Форма отчетности:

Отчет может быть сформирован в письменном виде или в текстовом редакторе на персональном компьютере. Отчет должен быть выполнен на листах формата А4.

В отчете должны присутствовать:

1. Задание

2. Цель работы
3. Таблицы с результатами экспериментов и расчетами параметров.
4. Каталогные и расчетные характеристики вентилятора.
5. Выводы по работе

Задания для самостоятельной работы:

Типовые примеры применения вентиляторов

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. – Москва : Академия, 2007. – 368 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – Москва : РАСХН, 2003. – 320 с.
3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520

Дополнительная литература

4. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Каким образом определяется расход из разницы давлений в различных частях воздухопровода? Укажите недостатки этого метода.
2. Назовите типы датчиков давления и расхода, которые вам известны?
3. Что на рабочей характеристике показывает точка пересечения характеристик вентилятора и системы?

Лабораторная работа №4

Исследование частотного регулирования электропривода насоса при законах $U/f=\text{const}$ и $U/f^2=\text{const}$.

Цель работы:

Целью работы является исследование характеристик системы электропривода «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» при линейном и квадратичном законе частотного управления.

Задание:

1. Провести настройку и получить характеристики электродвигателя при линейном законе частотного управления
2. Провести настройку и получить характеристики электродвигателя при квадратичном законе частотного управления

Порядок выполнения:

Перед проведением работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключателем «выбор режима управления» модуля ПЧ выбрать в качестве источника задания кнопочную панель оператора ПЧ;
- переключатель выбора режима управления насосом и задвижкой модуля управления и

индикации установить в положения «Руч»;

- переключатель выбора режима управления электродвигателем насоса модуля преобразователя частоты установить в положения «Пульт ПЧ»;
- шаровый кран К1 должен быть полностью открыт.

Перед проведением лабораторной работы преобразователь частоты должен быть настроен на скалярное управление согласно приложению В. Перед проведением работы необходимо произвести сборку силовой схемы. Клеммы А, В, С модуля стенда соединить с клеммами А, В, С модуля измерителя мощности. Клеммы А1, В1, С1 модуля измерителя мощности подключить к клеммам А1, В1, С1 модуля преобразователя частоты.

Опыт №1 Характеристики электродвигателя при линейном законе частотного управления

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить последовательно автоматический выключатель QF1 и переключатель SA1 модуля МПС;
- включить кнопку «Сеть» модуля измерителя мощности;
- потенциометр управления задвижкой установить в крайнее положение против часовой стрелки (соответствующее полностью закрытой задвижке);
- нажатием зеленой кнопки старт на кнопочной панели оператора запустить преобразователь частоты (на кнопочной панели отобразится «Run»);
- с помощью функциональных клавиш и навигационного колеса установить номинальную частоту на статоре электродвигателя (**при этом нужно учитывать что, что при полностью закрытой задвижке давление в системе максимально, помимо этого насос работает на упор, поэтому необходимо минимизировать время работы лабораторного стенда в данном режиме**);
- потенциометром управления задвижкой изменять расход и давление в системе вплоть до полного открытия задвижки;
- Данные опыта занести в таблицу. Сетевые показатели регистрируются посредством измерителя мощности, показатели статорной цепи – посредством преобразователя частоты (см. приложение В);
- после проведения эксперимента перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.

Таблица .

Опыт	п, об/мин				
	U_C , В				
	I_C , А				
	M_B , %				
	f_C , Гц				
	$P_{СЕТИ}$, Вт				
	$S_{СЕТИ}$, ВА				
	$Q_{СЕТИ}$, ВАр				
Расчет	ω , 1/с				
	S_C , ВА				
	$\Delta P_{ЭЛ}$, Вт				
	P_B , Вт				
	η_{AD}				
	$\eta_{ПА-AD}$				
	$\cos(\varphi)_{AD}$				
	$\cos(\varphi)_{ПЧ-AD}$				

Опыт №1 Характеристики электродвигателя при квадратичном законе частотного управления

Для перевода преобразователя частоты в данный режим необходимо выполнить следующие действия:

- включить последовательно автоматический выключатель QF1 и переключатель SA1 модуля МПС;

- на преобразователе частоты выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- Stt – закон управления электродвигателем ($UF-5$ - скалярное управление по пяти точкам), после этого появится доступ к настройкам пяти точек кривой, которые необходимо настроить соответственно квадратичному закону управления, значения параметров представлены в таблице. (Подобным образом можно настроить и произвольный закон согласно указанию преподавателя).

Таблица

Параметр	U0	U1	U2	U3	U4	U5	f1	f2	f3	f4	f5
Значения	0	15	61	137	243	380	10	20	30	40	50

Опыт проводится аналогичным образом по опыту №1. Данные заносятся в таблицу формата 4.1. После проведения эксперимента необходимо перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.

Форма отчетности:

Отчет может быть сформирован в письменном виде или в текстовом редакторе на персональном компьютере. Отчет должен быть выполнен на листах формата А4.

В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы.
2. Схему установки и принцип действия.
3. Ход работы с описанием основных этапов проведения экспериментов.
4. Таблицы результатов экспериментов, пример определения расчетных данных для одной точки, необходимые регулировочные характеристики электродвигателя.
5. Выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. – Москва : Академия, 2007. – 368 с.

2. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – Москва : РАСХН, 2003. – 320 с.

3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL:

https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520

Дополнительная литература

4. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. [Электронный ресурс]. – URL:

https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?

2. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
3. Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения?
4. Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?
5. Что такое частотное и скалярное управление?
6. Какие законы частотного управления вы знаете?

Лабораторная работа №5

Исследование динамических режимов электропривода насоса

Цель работы:

Изучение физических процессов, протекающих при процессах пуска и торможения электропривода насосного агрегата.

Задание:

1. Исследовать переходные процессы при различных типах задатчика интенсивности.
2. Изучить способы управления режимами торможения электропривода.

Порядок выполнения:

Для исследования переходных процессов при различных типах задатчика интенсивности необходимо:

1. Включить последовательно автоматический выключатель QF1 и переключатель SA1 модуля питания стенда.
2. Включить кнопку «Сеть» модуля измерителя мощности.
3. Потенциометр управления задвижкой установить в крайнее положение против часовой стрелки (соответствующее полностью закрытой задвижке).
4. На преобразователе частоты выбрать меню 1 «Меню преобразователя частоты», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров: «Задатчик», сконфигурировать следующие параметры:
 - rpt – тип кривых разгона и торможения: Lin – линейный;
 - ACC – время разгона: 5 с;
5. Нажатием зеленой кнопки старт на кнопочной панели оператора запустить преобразователь частоты.
6. Потенциометр управления задвижкой установить в крайнее положение по часовой стрелке.
7. С помощью функциональных клавиш и навигационного колеса установить номинальную скорость вращения двигателя.
8. Нажать красную кнопку стоп на панели оператора преобразователя частоты и дождаться полной остановки двигателя, затем нажать зеленую кнопку пуск и зафиксировать на экране персонального компьютера переходный процесс скорости;
9. Повторить эксперимент для значения постоянной времени задатчика интенсивности, равной 0,5 с.
10. Аналогично шагам 3-8 произвести исследования других видов кривой разгона электропривода (S и U соответственно).

Для изучения способов управления режимами торможения электропривода необходимо:

1. На преобразователе частоты выбрать меню 1 «Меню преобразователя частоты», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров: «Конфигурация остановки», сконфигурировать следующие параметры:
 - Stt – способ торможения: nSt – выбег;
2. Нажатием зеленой кнопки старт на кнопочной панели оператора запустить преобразователь частоты.
3. Потенциометр управления задвижкой установить в крайнее положение по часовой

стрелке.

4. С помощью функциональных клавиш и навигационного колеса установить номинальную скорость вращения двигателя.

5. Нажать красную кнопку стоп на панели оператора преобразователя частоты и дождаться полной остановки двигателя, затем нажать зеленую кнопку пуск и зафиксировать на экране персонального компьютера переходный процесс скорости;

6. На преобразователе частоты выбрать меню 1 «Меню преобразователя частоты», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров: «Конфигурация остановки», сконфигурировать следующие параметры:

- Stt – способ торможения: dCI – динамическое торможение;
- IdC – уровень постоянного тока: I_n – номинальное значение.

7. Повторить шаги 2-5.

8. На преобразователе частоты выбрать меню 1 «Меню преобразователя частоты», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров: «Конфигурация остановки», сконфигурировать следующие параметры:

- Stt – способ торможения: dCI – динамическое торможение;
- IdC – уровень постоянного тока: $0,5I_n$ – половина номинального значения.

9. Повторить шаги 2-5.

10. Перевести все переключатели и потенциометры в исходное состояние в порядке, обратном порядку включения.

Форма отчетности:

Отчет может быть сформирован в письменном виде или в текстовом редакторе на персональном компьютере. Отчет должен быть выполнен на листах формата А4.

В отчете должны присутствовать:

1. Задание
2. Цель работы
3. Графики переходных процессов.
4. Выводы по работе

Задания для самостоятельной работы:

Способы торможения асинхронных двигателей.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. – Москва : Академия, 2007. – 368 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – Москва : РАСХН, 2003. – 320 с.
3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520

Дополнительная литература

4. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Для чего необходим плавный пуск и торможение?

2. Назовите типы датчика интенсивности, применяемых в электроприводах. Зачем нужны несколько типов данных устройств?

3. Область применения торможения постоянным током системы «Преобразователь частоты-асинхронный двигатель».

4. Объяснить процесс торможения постоянным током преобразователя частоты инверторного типа.

5. При торможении с минимальным темпом электродвигатель отдает электроэнергию в инвертор. Эта электроэнергия рассеивается на тормозном сопротивлении звена постоянного тока. Объяснить принцип работы этого элемента.

Лабораторная работа №6

Настройка и исследование системы автоматического регулирования расхода с применением метода частотного регулирования привода насоса

Цель работы:

Настроить систему автоматического регулирования расхода, используя метод частотного регулирования электродвигателя насоса и датчик расхода US800 в качестве источника сигнала обратной связи. Снять статические и динамические характеристики данной системы.

Задание:

В данной лабораторной работе требуется построить систему автоматического регулирования расхода с применением ПИД- регулятора, реализованного на ПЛК Siemens S7-1200, настроить коэффициенты ПИД-регулятора и снять статические и динамические характеристики системы.

Порядок выполнения:

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести стенд в исходное состояние. Эта процедура осуществляется в следующей последовательности:

На модуле «Питание стенда»:

- убедиться в том, что автоматический выключатель QF1 находится в выключенном положении;

- установить клавишный переключатель SA1 в выключенное положение.

На модуле «Программируемый логический контроллер»:

- тумблеры блока аналоговых и дискретных входов/выходов I0.0...I0.7 перевести в нижнее положение, соответствующее выключенному состоянию.

На модуле «преобразователь частоты»:

- тумблер выбора режима управления перевести в положение «Пульт ПЧ».

На модуле «Управление и индикация датчиков»:

- тумблер выбора режима регулирования процесса перевести в положение «Руч».

- потенциометры RP1 и RP2 перевести в крайнее левое положение (закртыо).

На гидравлической части стенда: - кран K1 перевести в открытое состояние, повернув до упора против часовой стрелки;

- проверить наличие воды в технологической емкости – он должен быть заполнен на 2/3 объема. При необходимости требуется долив рабочей жидкости в гидросистему.

После установки начальных условий необходимо подготовить к работе персональный компьютер и обеспечить связь с лабораторным стендом:

1) Включить персональный компьютер и дождаться загрузки операционной системы Windows;

2) Убедиться в том, что лабораторный стенд соединен с системным блоком ПК с помощью двух USB кабелей;

3) Подать напряжение на стенд включением автоматического выключателя QF1 и клавишного переключателя SA1 модуля «Питание стенда»;

4) Подать напряжение на модуль ПЛК нажатием клавишного переключателя SA1 модуля «ПЛК»;

5) Дождаться загрузки ПЛК (индикаторы на ПЛК горят постоянно);

6) На модуле «Преобразователь частоты» тумблер выбора режима управления перевести в положение «ПЛК»;

7) Тумблер выбора режима регулирования процесса перевести в положение «Авт»;

8) На рабочем столе найти и запустить ярлык проекта «ЭОиА-ЦН-СК». В открывшемся окне исполнительной среды выбрать меню «файл» и нажать на кнопку «Запуск/Останов» и дождаться, когда программа перейдет в режим опроса ПЛК;

9) Для удобства пользования установить полноэкранный режим работы нажатием сочетания клавиш «Ctrl+F». Стартовый кадр проекта представлен на рис. 6.1;

10) Перевести ПЛК в работу со SCADA-системой, включив тумблер **10.7**.

Опыт по настройке замкнутой системы производится в следующем порядке:

1) В поле «Уставка коэффициентов регулятора» задать коэффициент усиления П-канала регулятора, отличный от нуля, а интегральный и дифференциальный коэффициенты усиления установить равными нулю;

2) Установить сигнал задания, равный 1,0 (параметр «Уставка величины расхода»);

3) Полностью открыть задвижку. Для этого нажать на кнопку «Уставка величины открытия задвижки», затем ввести число 100. Недопустим ввод уставки более 100%, так как это вызовет ошибку в работе задвижки.

4) Для запуска регулятора в работу необходимо нажать кнопку «Пуск», при этом система начинает обрабатывать данную уставку. Далее следует наблюдать переходный процесс изменения расхода на экране персонального компьютера;

5) Изменяя значение коэффициента П-канала регулятора, добиться необходимого с точки зрения быстродействия и минимума колебательности переходного процесса;

6) Аналогичным образом подобрать значения коэффициентов интегрального и дифференциального каналов регулятора. При проведении настройки необходимо учитывать, что инерционность датчиков расхода высока, что в свою очередь обязательно отразится на настройках интегрального и дифференциального каналов регулятора;

7) После окончательной установки параметров регулятора расхода необходимо снять переходный процесс изменения расхода при изменении сигнала задания.

После настройки системы регулирования расхода необходимо снять следующие характеристики:

- зависимость расхода от величины сигнала задания;

- переходный процесс системы при приложении возмущающего воздействия, создаваемого путем изменения величины открытия задвижки;

Для снятия статической зависимости расхода от сигнала задания необходимо:

1) Установить сигнал задания, равный нулю (параметр «Уставка величины расхода»);

2) Задавая уставку регулятора настроенной замкнутой системы от 0 до максимума, изменять величину расхода, фиксируя показания в табл. Данные с датчиков расхода можно наблюдать на экране ПК;

3) Характеристики необходимо снимать как при повышении уставки, так и при ее снижении;

4) После проведения опыта установить сигнал задания, равный нулю;

5) Остановить процесс регулирования нажатием кнопки «стоп»;

6) Обнулить значение уставки величины открытия задвижки.

Таблица

Восходящая ветвь							
US-800							
Бетар							
Нисходящая ветвь							
US-800							
Бетар							

Переходный процесс изменения расхода при приложении возмущающего воздействия снимается в следующей последовательности:

- 1) Установить величину расхода в пределах 0,5...2,0 (параметр «Уставка величины расхода»). Требуемую величину расхода можно вычислить, руководствуясь данными снятия статической зависимости расхода от сигнала задания;
- 2) Полностью открыть задвижку. Для этого нажать на кнопку «Уставка величины открытия задвижки», затем число 100. Недопустим ввод уставки более 100%, т.к. это вызовет ошибку в работе задвижки;
- 3) Нажатием кнопки «Пуск» запустить регулятор в работу, при этом системы начинает обрабатывать данное задание. Далее следует наблюдать переходный процесс изменения расхода на экране персонального компьютера;
- 4) Дождаться установления заданного уровня расхода. Окончание переходного процесса расхода можно отслеживать с помощью персонального компьютера (временные диаграммы расхода);
- 5) Уменьшать величину расхода системы, изменяя величину закрытия задвижки. При этом не рекомендуется полностью перекрывать задвижку, т.к. это может привести к поломке насоса;
- 6) Отслеживать переходный процесс изменения расхода на экране компьютера. По окончании переходного процесса сохранить его временную диаграмму и в дальнейшем привести ее в отчете;
- 7) Остановить процесс регулирования нажатием кнопки «Стоп»;
- 8) Обнулить значение уставки величины закрытия задвижки;
- 9) Установить значение уставки регулятора, а также значения уставок коэффициентов регулятора равными нулю;
- 10) В SCADA-проекте выйти на стартовый кадр программы;
- 11) Привести стенд в исходное состояние.

Форма отчетности:

Отчет может быть сформирован в письменном виде или в текстовом редакторе на персональном компьютере. Отчет должен быть выполнен на листах формата А4.

В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы.
2. Схему установки и принцип действия.
3. Ход работы с описанием основных этапов проведения экспериментов.
4. Необходимо привести временные диаграммы настройки ПИД-регулятора расхода, статические характеристики датчиков и переходные процессы изменения уровня при приложении возмущающего воздействия. Обработать графики и указать показатели качества процессов.
5. Выводы по работе.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Москаленко В.В. Электрический привод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. – Москва : Академия, 2007. – 368 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод : учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – Москва : РАСХН, 2003. – 320 с.
3. Никитенко Г.В. Электропривод производственных механизмов: учебное пособие / Г. В. Никитенко: Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277520

Дополнительная литература

4. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для:

- получения информации при подготовке к занятиям,
- создания презентационного сопровождения лекций;
- интерактивного общения;
- проведения лабораторных занятий.

1. ОС Windows 7 Professional;
2. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;
4. ПО "Антиплагиат"
5. Ай-Логос Система дистанционного обучения

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
1	2	3	4
ЛК	Лекционная аудитория	Учебная мебель	
ЛР	Лаборатория электропривода	Лабораторный стенд «Электрооборудование вентиляторной установки» Лабораторный стенд «Система автоматического управления центробежным насосом»	№ 1-6
СР	Читальный зал №3	Учебная мебель, Оборудование 15-CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF);принтер HP LaserJet P3005	-

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1. Классификация типовых производственных механизмов	1.1. Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.	Экзаменационный вопрос 1.1
			1.2. Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.	Экзаменационный вопрос 1.2
			1.3. Расчет реактивных статических нагрузок	Экзаменационные вопросы 1.3-1.5
			1.4. Расчет активных статических нагрузок	Экзаменационные вопросы 1.6-1.7
			1.5. Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения	Экзаменационный вопрос 1.8
		2. Электроприводы механизмов непрерывного действия	2.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	Экзаменационный вопрос 2.1
			2.2. Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	Экзаменационный вопрос 2.2
			2.3. Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	Экзаменационный вопрос 2.3
			2.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	Экзаменационный вопрос 2.4
			2.5. Основные требования,	Экзаменационный

			предъявляемые к электроприводам механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	вопрос 2.5
			2.6. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	Экзаменационные вопросы 2.6-2.7
			2.7. Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	Экзаменационный вопрос 2.8
		3. Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов	3.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет и анализ нагрузок механизмов этой группы.	Экзаменационный вопрос 3.1
			3.2. Расчет и анализ нагрузок механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	Экзаменационные вопросы 3.2-3.3
			3.3. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Анализ и расчет статических нагрузок.	Экзаменационный вопрос 3.4
			3.4. Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой.	Экзаменационный вопрос 3.5
			3.5. Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Основные принципы, особенности.	Экзаменационный вопрос 3.6
			3.6. Выбор типа системы электропривода при позиционировании.	Экзаменационный вопрос 3.7
ПК-7	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике		1. Классификация типовых производственных механизмов	1.1. Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.
		1.2. Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.		Экзаменационный вопрос 1.2

	1.3. Расчет реактивных статических нагрузок	Экзаменационные вопросы 1.3-1.5
	1.4. Расчет активных статических нагрузок	Экзаменационные вопросы 1.6-1.7
	1.5. Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения	Экзаменационный вопрос 1.8
2. Электроприводы механизмов непрерывного действия	2.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	Экзаменационный вопрос 2.1
	2.2. Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	Экзаменационный вопрос 2.2
	2.3. Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.	Экзаменационный вопрос 2.3
	2.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	Экзаменационный вопрос 2.4
	2.5. Основные требования, предъявляемые к электроприводам механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.	Экзаменационный вопрос 2.5
	2.6. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	Экзаменационные вопросы 2.6-2.7
	2.7. Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.	Экзаменационный вопрос 2.8
3. Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов	3.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет и анализ нагрузок механизмов этой группы.	Экзаменационный вопрос 3.1

			3.2. Расчет и анализ нагрузок механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Расчет мощности электродвигателя и его выбор.	Экзаменационные вопросы 3.2-3.3
			3.3. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Анализ и расчет статических нагрузок.	Экзаменационный вопрос 3.4
			3.4. Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой.	Экзаменационный вопрос 3.5
			3.5. Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Основные принципы, особенности.	Экзаменационный вопрос 3.6
			3.6. Выбор типа системы электропривода при позиционировании.	Экзаменационный вопрос 3.7

2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	<p>1.1. Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.</p> <p>1.2. Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.</p> <p>1.3. Расчет реактивных статических нагрузок. Расчет статических моментов. Расчет момента сопротивления от сил трения</p> <p>1.4. Расчет реактивных статических нагрузок. Расчет моментов сопротивления при обработке металлов давлением. Определение момента прокатки по удельному расходу энергии.</p> <p>1.5. Расчет реактивных статических нагрузок. Определение моментов сопротивления при резании. Расчет сил сопротивлений механизмов подачи</p> <p>1.6. Расчет активных статических нагрузок. Определение момента сопротивления для одноконцевых лебедок.</p> <p>1.7. Расчет активных статических</p>	1. Классификация типовых производственных механизмов

		<p>нагрузок. Определение момента сопротивления при подъеме по наклонной плоскости. Определение моментов сопротивления от силы ветра.</p> <p>1.8. Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения</p>	
		<p>2.1. Электропривод механизмов непрерывного действия с постоянной распределенной нагрузкой. Требования. Определение нагрузок конвейера и расчет мощности электродвигателя.</p> <p>2.2. Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.</p> <p>2.3. Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.</p> <p>2.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.</p> <p>2.5. Электропривод механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости. Требования. Расчет мощности двигателей. Способы регулирования производительности турбомеханизмов и выбор типа электропривода. Автоматизация.</p> <p>2.6. Конструктивные особенности электропривода механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени. Электропривод механизмов с нагрузкой позиционного типа</p> <p>2.7. Конструктивные особенности электропривода механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени. Электропривод механизмов с ударным характером нагрузки.</p> <p>2.8. Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.</p>	<p>2. Электроприводы механизмов непрерывного действия</p>
		<p>3.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Общие требования, предъявляемые к электроприводу. Электропривод механизмов одноковшовых экскаваторов.</p> <p>3.2. Требования, предъявляемые к электроприводу экскаваторов. Выбор мощности электродвигателей механизмов экскаваторов</p>	<p>3. Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов</p>

			<p>3.3. Типовые электроприводы механизмов экскаватора.</p> <p>3.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Электропривод механизмов подъемных кранов. Требования.</p> <p>3.5. Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Типовые электроприводы крановых механизмов.</p> <p>3.6. Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Точный останов электропривода</p> <p>3.7. Выбор типа системы электропривода при позиционировании</p>	
2	ПК-7	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике	<p>1.1. Задачи и особенности изучения дисциплины. Классификация типовых производственных механизмов.</p> <p>1.2. Учет основных классификационных признаков машин и механизмов: назначение, конструктивное исполнение, область применения и характер технологического процесса.</p> <p>1.3. Расчет реактивных статических нагрузок. Расчет статических моментов. Расчет момента сопротивления от сил трения</p> <p>1.4. Расчет реактивных статических нагрузок. Расчет моментов сопротивления при обработке металлов давлением. Определение момента прокатки по удельному расходу энергии.</p> <p>1.5. Расчет реактивных статических нагрузок. Определение моментов сопротивления при резании. Расчет сил сопротивлений механизмов подачи</p> <p>1.6. Расчет активных статических нагрузок. Определение момента сопротивления для одноконцевых лебедок.</p> <p>1.7. Расчет активных статических нагрузок. Определение момента сопротивления при подъеме по наклонной плоскости. Определение моментов сопротивления от силы ветра.</p> <p>1.8. Динамические и ударные нагрузки и способы их ограничения</p>	1. Классификация типовых производственных механизмов
			<p>2.1. Электропривод механизмов непрерывного действия с постоянной распределенной нагрузкой. Требования. Определение нагрузок конвейера и расчет мощности электродвигателя.</p> <p>2.2. Анализ типовых схемных решений электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.</p> <p>2.3. Электромеханическое регулирование скорости, обеспечение высоких</p>	2. Электроприводы механизмов непрерывного действия

			<p>энергетических показателей работы электроприводов механизмов непрерывного действия с постоянной нагрузкой.</p> <p>2.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости.</p> <p>2.5. Электропривод механизмов непрерывного действия с моментом нагрузки, зависящим от скорости. Требования. Расчет мощности двигателей. Способы регулирования производительности турбомеханизмов и выбор типа электропривода. Автоматизация.</p> <p>2.6. Конструктивные особенности электропривода механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени. Электропривод механизмов с нагрузкой позиционного типа</p> <p>2.7. Конструктивные особенности электропривода механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени. Электропривод механизмов с ударным характером нагрузки.</p> <p>2.8. Область применения электроприводов механизмов непрерывного действия с нагрузкой, зависящей от времени.</p>	
			<p>3.1. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с реактивной нагрузкой. Общие требования, предъявляемые к электроприводу. Электропривод механизмов одноковшовых экскаваторов.</p> <p>3.2. Требования, предъявляемые к электроприводу экскаваторов. Выбор мощности электродвигателей механизмов экскаваторов</p> <p>3.3. Типовые электроприводы механизмов экскаватора.</p> <p>3.4. Конструктивные особенности электроприводов механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Электропривод механизмов подъемных кранов. Требования.</p> <p>3.5. Выбор двигателей и типа электропривода механизмов циклического действия с активной нагрузкой. Типовые электроприводы крановых механизмов.</p> <p>3.6. Электроприводы позиционных механизмов с различными видами нагрузки. Точный останов электропривода</p> <p>3.7. Выбор типа системы электропривода при позиционировании</p>	<p>3. Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов</p>

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-математические основы определения статических и динамических нагрузок типовых машин и механизмов. <p>(ПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> - классификацию типовых производственных механизмов, методы расчета и выбора основного электрооборудования, типовые технические решения и примеры схем электроприводов. <p>Уметь (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять методы анализа и моделирования для выбора приводных двигателей типовых производственных механизмов с учетом комплекса требований к ним. <p>(ПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбирать, проектировать, налаживать и эксплуатировать системы электроприводов промышленных установок в различных отраслях промышленности. <p>Владеть (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками теоретического и экспериментального исследования при анализе режимов работы электропривода типовых производственных механизмов <p>(ПК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками анализа схем управления электроприводами промышленных установок. 	<p>отлично</p>	<p>Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал и демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> - всестороннее знание программного материала; - умение правильного применения основных положений программного материала; - владеет всеми навыками, полученными в ходе изучения программного материала.
	<p>хорошо</p>	<p>Обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> -недостаточно полное знание программного материала; - применение с несущественными ошибками основных положений программного материала.
	<p>удовлетворительно</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное знание программного материала и допускает ошибки в ответе.</p>
	<p>неудовлетворительно</p>	<p>Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены.</p>

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Типовой электропривод направлена на формирование у обучающихся знаний об основных функциях, выполняемых системами управления электроприводов, знакомство с комплексом требований, определяющих выбор системы электропривода для типовых производственных механизмов, и примерами их технической реализации в различных областях промышленности.

Изучение дисциплины Типовой электропривод предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить на классификацию типовых производственных механизмов, особенности расчета активных и реактивных статических нагрузок, динамических и ударных нагрузок; конструктивные особенности и требования, предъявляемые к электроприводу механизмов непрерывного, циклического действия.

В процессе проведения лабораторных занятий происходит закрепление теоретических сведений, навыков применения методов расчета параметров режима электропривода типовых производственных механизмов, анализа энергетических показателей работы электропривода.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

АННОТАЦИЯ

рабочей программы дисциплины

Типовой электропривод

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся знаний об основных функциях, выполняемых системами управления электроприводов, знакомство с комплексом требований, определяющих выбор системы электропривода для типовых производственных механизмов, и примерами их технической реализации в различных областях промышленности.

Задачей изучения дисциплины является приобретение студентами навыков и умений самостоятельного выбора приводных двигателей для различных производственных машин и механизмов, выбора системы автоматизированного электропривода и расчета характеристик электропривода с учетом энергетических показателей.

2. Структура дисциплины

2.1. Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк 34 ч; ЛР 34 ч; СР 31 ч.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 144 часов, 4 зачетных единицы.

2.2. Основные разделы дисциплины:

1 – Классификация типовых производственных механизмов.

2 – Электроприводы механизмов непрерывного действия.

3 – Электроприводы механизмов циклического действия и электроприводы позиционных механизмов.

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 - способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач

ПК-7 - готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике

4. Вид промежуточной аттестации: экзамен

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «__» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника от «03» сентября 2015 г. № 955

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701, заочной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» июня 2016г. №429, заочной формы обучения от «6» июня 2016г. №429 для заочной (ускоренное обучение) формы обучения от «6» июня 2016г. №429

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 , заочной формы обучения от «6» марта 2017г. №125, для заочной (ускоренной) формы обучения от «4» апреля 2017г. №203

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. №130, заочной формы обучения от «12» марта 2018г. №130

Программу составил:

Шакиров В.А., доцент, к.т.н. _____

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «28» декабря 2018 г., протокол №5

Заведующий кафедрой ЭиЭ _____

Ю.Н. Булатов

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий выпускающей кафедрой _____

Ю.Н. Булатов

Директор библиотеки _____

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ФЭиА

от «28» декабря 2018 г., протокол №5

Председатель методической комиссии факультета _____

А.Д. Ульянов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник

учебно-методического управления _____

Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____