

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**В. А. Савельев**

## **ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к курсовой работе по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2013

УДК 62.83(075.8)  
ББК 31.291я73  
С12

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 26.123.2012 г.)*

Рецензент: зав. каф. ТОЭ ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *А. В. Козлов*

**Савельев, В. А.**  
С12 Теория электропривода : метод. указания к курсовой работе по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Савельев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2013. – 29 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: [http:// library.gstu.by/StartEK/](http://library.gstu.by/StartEK/). – Загл. с титул. экрана.

Приведены задания по курсовой работе, рекомендации по выполнению и оформлению работы, перечень необходимых источников литературы.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62.83(075.8)  
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2013

## 1. Цель и задачи проекта

При обучении студентов по специальности 1.53 01 05 - «Автоматизированные электроприводы» дисциплина «Теория электропривода» является одной из профилирующих и предусматривает высокий уровень теоретической и практической подготовки. Поэтому целью курсовой работы является развитие, систематизация и закрепление знаний, полученных при изучении теоретического материала. В процессе проектирования, решая технические задачи, студенты приобретают навыки самостоятельной инженерно-технической деятельности.

Постановка в работе главных вопросов проектирования системы электропривода производственного механизма требует решения следующих технических задач: выявление особенностей механизма, выбор типа электропривода (регулируемый или нерегулируемый), выбор рода тока и типа электродвигателя, расчет мощности и выбор типа-размера двигателя, выбор способов и аппаратуры для формирования требуемых статических и динамических характеристик.

Определение мощности и выбор электродвигателя является одной из трудоемких задач. Она связана с особенностями работы производственного механизма и характером переходных процессов в электроприводе. Поэтому решается методом последовательных приближений.

Вопросы, связанные с технико-экономическим анализом конкурентоспособных вариантов электроприводов, с разработкой системы автоматического управления и выбором её элементов, с разработкой конструктивных узлов и другие, в данной работе не ставятся, а рассматриваются в других курсах специальности.

## 2. Задание на курсовую работу, требования к работе

Задание на курсовую работу содержит кинематическую схему и основные параметры механизма, основные технологические требования к механизму, выполнение которых обеспечивается системой электропривода. При необходимости исходные данные могут быть дополнены студентами за счёт анализа специальной литературы.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки. Записка в общем случае содержит следующие разделы:

Введение.

1. Технологическое описание механизма (установки) и его техническая характеристика. Требования к электроприводу.

2. Расчет и построение диаграмм скорости и статических нагрузок механизма.

3. Выбор системы электропривода и предварительный выбор типоразмера двигателя.

4. Расчет и построение скоростной и упрощенной нагрузочной диаграмм электропривода.

5. Проверка двигателя по нагреву и перегрузочной способности.

6. Выбор силового оборудования и расчет параметров системы электропривода.

7. Расчет статических характеристик электропривода.

8. Расчет и анализ переходных процессов электропривода за цикл работы.

9. Окончательная проверка электродвигателя по нагреву и перегрузочной способности.

10. Расчет энергетика электропривода (потерь мощности, расхода электроэнергии, среднего КПД за цикл и др.)

11. Составление схемы управления и выбор коммутационной аппаратуры. Спецификация на оборудование.

Заключение.

Список литературы.

Перечень разрабатываемых вопросов по заданию руководителя может быть изменен.

Расчетно-пояснительная записка оформляется на стандартных листах писчей бумаги. Листы записки нумеруются и сшиваются. Обложка пояснительной записки делается из плотной бумаги и оформляется как титульный лист, по установленному в университете образцу. После титульного листа помещается бланк задания на курсовое

проектирование, подписанный студентом, руководителем проекта и утвержденный заведующим кафедрой. На первом листе приводится содержание записки по разделам и основным параграфам разделов. На последнем листе - список литературы. Расчетно-пояснительная записка пишется вручную аккуратным почерком с соблюдением правил орфографии и синтаксиса.

В излагаемый материал обязательно включаются используемые методики расчета, основные допущения и обозначения. При использовании графиков, численных коэффициентов, формул и методик необходимо делать ссылки на соответствующие литературные источники. Не допускается сокращение слов, кроме общепринятых.

В тексте записки вначале записывается расчетная формула в общем виде, а затем с проставленными числовыми значениями. В конце каждой расчетной формулы обязательно указывается размерность полученных величин в системе СИ; и при необходимости номер формулы. Результаты повторяющихся расчетов следует сводить в таблицы.

Таблицы должны иметь наименование и нумерацию. Под буквенными обозначениями величин необходимо указывать размерность.

Если применяется вычислительная техника, то в записке приводятся программы расчета или указывается название стандартных программ.

Материал в записке обязательно должен иллюстрироваться схемами, графиками и т.п., которые отражают результаты проектирования. Они выполняются на листах записки на миллиметровой бумаге.

Схемы и графики в работе выполняются карандашом или тушью в соответствии с требованиями ЕСКД. В записке обязательно должны присутствовать: кинематическая схема механизма, электрическая схема электропривода, скоростная и упрощенная нагрузочная диаграммы электропривода, электромеханические и механические характеристики электропривода, кривые переходных процессов за цикл работы механизма. Перечень прочего графического материала записки согласовывается с руководителем проекта.

Выполнение работы должно быть закончено на 12-й учебной неделе. Для планомерной работы и успешного окончания проектирования необходимо придерживаться следующего графика:

- |                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 1. Выполнение разделов 1, 2    | - 1-2 неделя |
| 2. Выполнение разделов 3, 4, 5 | - 3-4 неделя |
| 3. Выполнение разделов 6, 7    | - 5-6 неделя |

- |                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| 4. Выполнение разделов 8, 9       | - 7-8 неделя   |
| 5. Выполнение разделов 10, 11, 12 | - 9-10 неделя  |
| 6. Оформление проекта             | - 10-11 неделя |
| 7. Сдача проекта на проверку      | - 12 неделя    |
| 8. Защита проекта                 | - 13 неделя    |

Если при проверке, у руководителя появляются замечания о качестве и полноте выполненной работы, то студент дорабатывает проект.

Для защиты проекта студенту рекомендуется подготовить доклад, в котором должно быть кратко и ясно изложено основное содержание проекта, объяснены принятые технические решения, показана их целесообразность. Во время защиты студенту могут быть заданы по работе любые вопросы теоретического и практического характера.

При оценке работы особое внимание уделяется обоснованию решений, принятых в курсовой работе, ясному и глубокому представлению о физических процессах, протекающих в электроприводе в различных режимах его работы, а также оформлению работы.

### 3. Варианты заданий

#### Задание №1. Электропривод грузового лифта

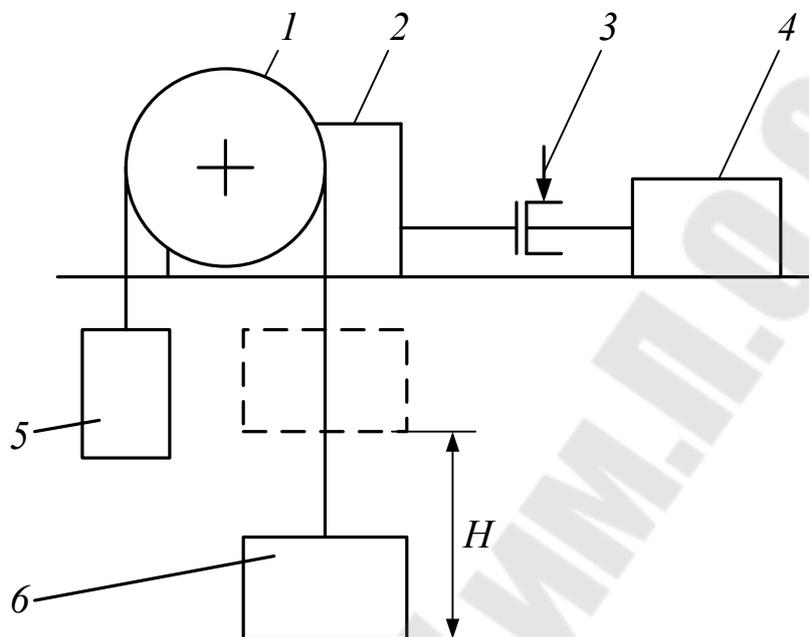


Рис. 1. Кинематическая схема лифта:

1 – канатоведущий шкив; 2 – редуктор; 3 – тормозной шкив;  
4 – двигатель; 5 – клеть; 6 – противовес

Грузовой лифт предназначен для подъема груза с нижней площадки на верхнюю. Вниз клеть может спускаться как без груза, так и с грузом. Грузовой лифт предназначен для подъема груза с нижней площадки на верхнюю. Вниз клеть может спускаться как без груза, так и с грузом.

Цикл работы лифта включает в себя времена подъема и опускания клетки, а также времена загрузки и выгрузки. Подъем клетки происходит с установившейся скоростью  $V_p$ , а опускание – со скоростью  $V_v > V_p$ . В процессе расчета необходимо определить наиболее загруженный для двигателя режим работы, обеспечить выполнение требований по ускорению лифта и возможность его работы с разными грузами на подъем и на спуск.

Таблица 1

## Технические данные лифта

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Варианты													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$m_{\Gamma}$	Грузоподъёмность	т	5	5	4	4	3,5	3	3,2	2,5	2	1,5	1	1	0,75	0,5
$m_{\kappa}$	Масса клетки	т	7,5	6	6	6,5	6	5	5,5	4	3	2,3	1,5	1,5	1,5	1
$m_{\Pi}$	Масса противовеса	т	10	9,5	9	8,5	8	6,5	7	5,2	4	3	2	1,8	1,8	1,2
$D$	Диаметр канатоведущего шкива	м	0,3	0,4	0,4	0,35	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
$C_{\text{л}}$	Линейная жесткость	МН/м	110	105	100	90	80	70	55	50	45	40	35	30	25	20
$h$	Высота подъема клетки	м	6	8	7	9	4	5	7	5	9	8	7	6	5	6
$V_{\text{р}}$	Скорость подъема клетки	м/с	0,2	0,25	0,2	0,25	0,2	0,2	0,25	0,2	0,25	0,25	0,3	0,25	0,3	0,3
$V_{\text{в}}$	Скорость опускания	м/с	0,3	0,35	0,3	0,35	0,3	0,3	0,35	0,3	0,35	0,35	0,4	0,35	0,4	0,4
$a$	Допустимое ускорение	м/с <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$z$	Число циклов в час	-	30	30	30	30	50	50	40	40	30	40	60	50	60	60
$t_{\text{р}}$	Суммарное время работы, не более	с	80	85	90	90	60	50	70	50	72	65	45	50	35	40

## Задание №.2. Электропривод рольганга ножниц

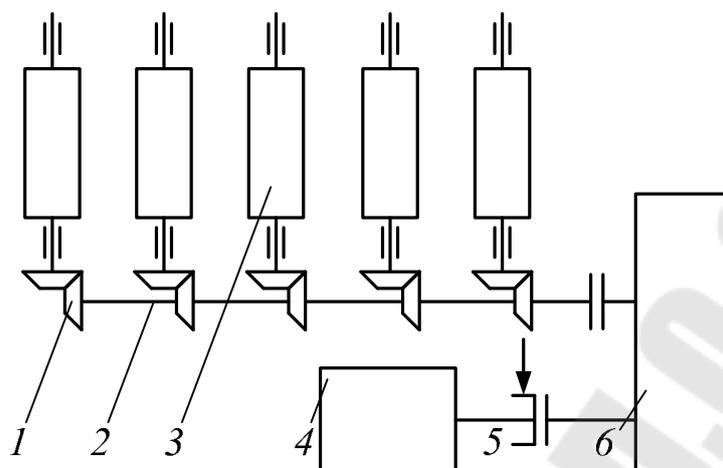


Рис. 2. Кинематическая схема рольганга:

1 – коническая шестерня; 2 – продольный вал; 3 – ролик;  
4 – электродвигатель; 5 – тормозной шкив; 6 – редуктор

Рольганг ножниц служит для перемещения заготовки, установки её для пореза на заданной отметке.

Заготовка длиной  $L$  подается на рольганг транспортером. Рольганг запускается, перемещает заготовку на длину  $L/2$  и останавливается. Рез заготовки ножницами происходит при неподвижном рольганге, отрезанная часть заготовки снимается с рольганга отводящим транспортером. После этого рольганг запускается вторично, перемещая оставшуюся часть заготовки (длиной  $L/2$ ) за ножницы, откуда она снимается с рольганга. Затем цикл повторяется.

Для точной установки заготовки перед порезом перемещение полной заготовки (рабочий ход рольганга) производят при пониженной скорости  $V_p$ , а транспортирование оставшейся части – при скорости  $V_v > V_p$ .

При расчете мощности двигателя рольганга необходимо учитывать возможность буксования роликов по заготовке, которое может возникнуть при кратковременной остановке заготовки (вследствие удара по боковым линейкам рольганга и по другим причинам).

Таблица 2

## Технические данные рольганга

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Варианты													
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$N$	Число роликов	-	16	15	15	20	15	12	20	15	20	12	15	16	15	12
$m_p$	Масса ролика	т	1,2	1	1	1,2	0,8	1	1	0,8	0,8	0,8	1,2	1	1,1	1
$D$	Диаметр ролика	м	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4
$d_{ш}$	Диаметр шейки ролика	мм	150	140	140	150	130	140	140	100	130	130	150	140	140	140
$\mu$	Коэффициент трения скольжения	-	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
$f$	Коэффициент трения качения	мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$J_p$	Момент инерции ролика	кг·м <sup>2</sup>	24	20	20	24	16	20	20	16	16	16	24	20	20	20
$J_B$	Момент инерции продольного вала	кг·м <sup>2</sup>	5	5	5	6	5	4	6	5	6	4	5	5	5	4
$C_K$	Крутильная жесткость	$\frac{МН \cdot м}{рад}$	2	1,5	2,2	2,4	1,2	1,8	3	0,8	1,6	0,7	12	1,6	0,6	0,8
$L$	Длина заготовки	м	20	16	20	24	20	18	24	24	20	16	16	14	20	14
$m_3$	Масса заготовки	т	7,5	7	7,5	8	7,5	7,3	7	7	6,5	7	6	8	7,5	7
$V_p$	Скорость рабочего хода	м/с	0,5	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4
$V_B$	Скорость транспортирования	м/с	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6
$a$	Допустимое ускорение	м/с <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$z$	Число циклов в час	—	70	70	70	70	70	70	70	70	80	80	80	80	80	80
$t_p$	Суммарное время работы, не более	с	45	45	40	45	45	40	45	40	35	35	35	40	36	38

### Задание №3. Электропривод цепного транспортера

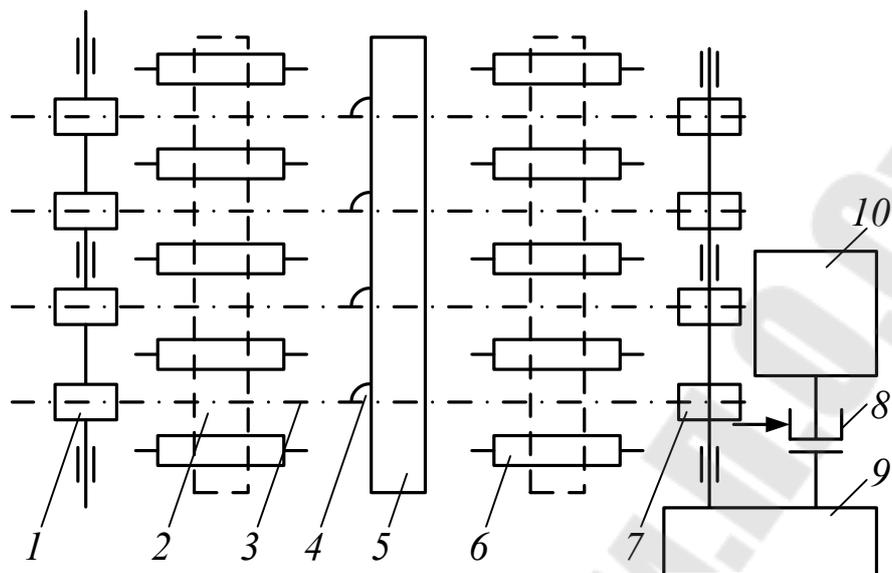


Рис. 3. Кинематическая схема транспортера:

1 – ведомый вал со звездочками; 2 и 6 – рольганги; 3 – цепь; 4 – упор; 5 – заготовка; 7 – ведущий вал со звездочками; 8 – тормозной шкив; 9 – редуктор; 10 – электродвигатель.

Цепной транспортер служит для передачи заготовки по направляющим с рольганга 2 на рольганг 6. Движение заготовки обеспечивается с помощью упоров, закрепленных на цепях, натянутых между звездочками ведущего и ведомого валов.

В исходном положении транспортера упоры располагаются за рольгангом 2. После подачи заготовки и остановки рольганга транспортер разгоняется, через 0,2 м зацепляет заготовку и перемещает её на рабочей скорости  $V_p$  к рольгангу 6. После достижения заготовкой требуемого положения транспортер реверсируется и на скорости  $V_v > V_p$  возвращается в исходное положение.

Следующий цикл начинается с момента подачи на рольганг 2 новой заготовки и ее полной остановки на рольганге.

Таблица 3

## Технические данные транспортера

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Варианты													
			31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
$m_B$	Масса вала со звездочками	т	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,4	6,8	7,2
$D$	Диаметр звездочки	м	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
$d_{Ш}$	Диаметр шейки вала	мм	75	75	75	100	100	100	125	125	125	125	150	150	150	150
$\mu$	Коэффициент трения скольжения	-	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
$\mu_c$	Коэффициент трения скольжения по направляющим	-	0,2	2	0,2	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,24	0,24	0,26	0,26	0,26	0,26
$J_B$	Момент инерции вала со звездочками	кг·м <sup>2</sup>	60	60	60	75	75	75	90	90	90	90	100	10	100	100
$C_K$	Крутильная жесткость рабочего вала	$\frac{МН \cdot м}{рад}$	0,65	0,7	0,9	0,95	0,95	1	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,35	1,4
$m_3$	Масса заготовки	т	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$L$	Длина перемещения заготовки	м	5	5	6	6	7	7	8	8	7	7	8	8	7	6
$V_p$	Скорость рабочего хода	м/с	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5
$V_B$	Скорость возвратного	м/с	1	0,8	0,9	0,8	1	1	1	1	0,9	0,9	1	1	0,9	0,8
$a$	Допустимое ускорение	м/с <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$z$	Число циклов в час	-	60	70	80	90	100	90	90	80	100	90	80	70	60	70
$t_p$	Суммарное время работы, не более	с	22	25	25	28	25	28	28	28	28	28	30	30	28	28

#### Задание №.4. Электропривод толкателя методической печи.

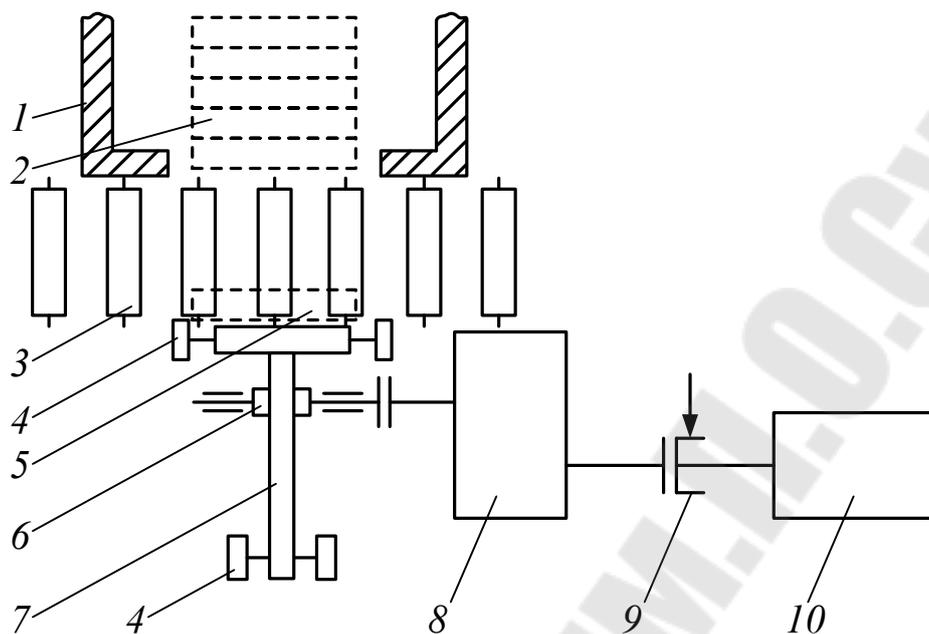


Рис. 4. Кинематическая схема толкателя:

- 1 – печь; 2 – заготовки в печи; 3 – подающий рольганг;  
4 – опорный ролик; 5 – заготовка; 6 – реечная шестерня;  
7 – толкатель; 8 – редуктор; 9 – тормозной шкив;  
10 – электродвигатель

Толкатель служит для подачи очередной заготовки с рольганга в печь и для продвижения по поду печи всех лежащих в ней заготовок.

После подачи рольгангом заготовки толкатель находится на расстоянии  $b$  от заготовки. Включается двигатель, толкатель подходит к заготовке и под нагрузкой на рабочей скорости  $V_p$  перемещает заготовку на расстояние  $L$  до соприкосновения её с заготовками, лежащими в печи, а затем перемещает все заготовки вместе на ширину  $b$  одной заготовки. Последняя заготовка выталкивается из печи. После этого толкатель реверсируется и на скорости  $V_v > V_p$  возвращается в исходное положение.

Таблица 4

## Технические данные толкателя

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Варианты													
			46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
$m_{ш}$	Масса штанги с рейкой	т	5,4	6	5	6	4	3	6	5	5	6	8	6	2,5	2,5
$D$	Диаметр реечной шестерни и опорного	м	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,45	0,5	0,5	0,4	0,45	0,4	0,3	0,3
$d_{ц}$	Диаметр цапфы одного ролика	мм	150	150	150	140	140	120	150	140	140	150	150	150	120	120
$\mu$	Коэффициент трения скольжения в подшипниках	-	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,3	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
$\mu_c$	Коэффициент трения скольжения заготовки по полу печи	-	0,18	0,2	0,2	0,2	0,22	0,22	0,19	0,2	0,2	0,2	0,19	0,2	0,22	0,22
$f$	Коэффициент трения качения опорных роликов	мм	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$C_k$	Крутильная жесткость рабочего вала	$\frac{МНм}{рад}$	3,5	2	1,8	2	1,5	1,3	3	2,5	1,8	1,9	3	2,1	1,2	1,2
$m_3$	Масса одной заготовки	т	0,9	1	0,8	0,9	0,6	0,4	1,5	0,8	0,8	0,9	1,5	1	0,3	0,3
$L$	Длина перемещения одной заготовки	м	1,5	1,6	1,5	1,5	2	2	1,5	1,8	1,5	1,5	1,3	1,7	1,4	1,2
$N$	Число заготовок в печи	-	20	30	40	35	25	30	30	40	35	30	25	40	40	30
$b$	Ширина одной	мм	200	300	200	200	300	200	250	150	200	250	300	150	200	250
$V_p$	Скорость рабочего хода	м/с	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,25	0,3	0,25	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2
$V_v$	Скорость возвратного движения	м/с	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,45	0,4	0,45	0,4	0,4	0,3	0,45	0,4	0,3
$a$	Допустимое ускорение	м/с <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
$z$	Число циклов в час	-	60	45	40	30	40	45	50	55	60	65	60	55	50	45
$t_p$	Суммарное время работы	с	22	18	22	22	20	20	19	20	19	20	21	18	18	20

### Задание №.5. Электропривод механизма передвижения тележки мостового крана

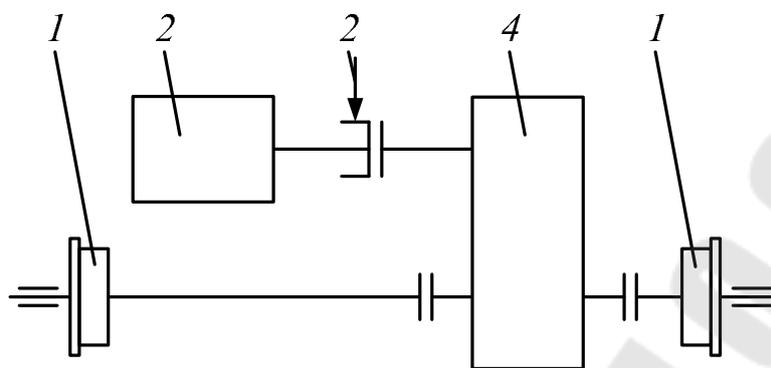


Рис. 5. Кинематическая схема механизма передвижения тележки:  
1 – ходовые колеса; 2 – электродвигатель; 3 – тормозной шкив;  
4 – редуктор

Тележка мостового крана выполняет операцию перемещения поднятого груза с площадки загрузки на площадку выгрузки. На площадке загрузки груз зацепляется, механизм подъема обеспечивает подъем груза. Включается двигатель тележки, осуществляется перемещение тележки с грузом с установившейся рабочей скоростью  $V_p$ . По прибытии к площадке выгрузки двигатель затормаживается, тележка останавливается в заданном месте, переместившись на длину  $L$ . Происходит опускание груза, его отцепляют, пустой крюк поднимается. Включается двигатель для движения в обратную сторону с установившейся скоростью  $V_B$ , тележка возвращается на площадку загрузки, пройдя вновь расстояние  $L$ .

Таким образом, тележка совершает возвратно-поступательное движение на длину  $L$  от одного крайнего положения до другого. В цикл работы тележки входит время пауз, когда тележка стоит, производятся зацепление груза, его подъем, опускание, расцепление, подъем и опускание пустого крюка.

Таблица 5

## Технические данные механизма передвижения тележки

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Варианты												
			61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
$m$	Масса тележки	т	7,5	7,5	6	5	4	3	3	3	3	3	4	4	4
$m_r$	Масса груза	т	16	20	8	10	12,5	8	10	12	10	10	10	12,5	16
$D$	Диаметр колеса	м	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,32	0,32	0,32	0,32	0,4	0,4
$d_c$	Диаметр ступицы	мм	50	50	50	50	60	60	60	80	80	80	80	100	100
$\mu$	Коэффициент трения скольжения	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,025	0,025	0,025	0,025	0,02	0,02	0,02
$f$	Коэффициент трения качения	мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$c_k$	Крутильная	$\frac{\text{МНм}}{\text{рад}}$	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8
$L$	Длина перемещения тележки	м	4	4	6	5	5	4,5	5	5	4	5	4	6	4,5
$V_p$	Скорость движения с грузом	м/с	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,4	0,35
$V_b$	Скорость движения без груза	м/с	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55	0,55	0,5
$a$	Предельное ускорение	м/с <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4
$z$	Число циклов в час	-	80	80	75	75	75	70	70	70	65	65	50	50	50
$t_p$	Суммарное время работы, не более	с	16	18	22	23	24	23	25	25	24	28	25	32	33

## Задание №.6. Электропривод механизма захватов манипулятора

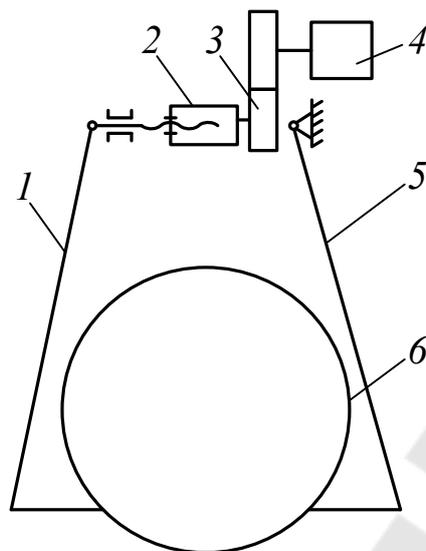


Рис. 6. Кинематическая схема механизма захвата: 1 и 5 – захваты; 2 – винтовая передача; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель; 6 – труба

Механизм захвата манипулятора служит для подхвата труб, которые транспортируются в пределах участка цеха.

При подхвате включается двигатель и с помощью редуктора и винтовой передачи захваты подводятся к трубе с установившейся скоростью  $V_c$ . Пройдя расстояние, равное половине длины выдвижения винта  $L$ , захваты приподнимают и зажимают трубу. После перемещения трубы (специальным механизмом) на нужную позицию происходит реверсирование механизма, захваты разводятся и при половине длины выдвижения винта  $L$  отпускают трубу. Скорость поступательного движения винта при разведении захватов  $V_p > V_c$ .

В расчетах принять массу захватов равной  $0,1 \cdot m$  - приведенной массы, а противодействующую силу, создаваемую захватами, равной  $0,1 \cdot Q$  – приведенной силы. В табл. 6 приведены значения  $m$  и  $Q$  с учетом захватов.

Таблица 6

## Технические данные механизма захвата манипулятора

Обозначение	Наименование показателя	Размерность	Варианты													
			76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
$Q$	Противодействующая сила	кН	15	20	20	20	15	15	15	18	18	18	15	16	17	18
$d_b$	Средний диаметр нарезки винта	мм	90	92	95	95	90	90	90	92	92	92	90	91	91	92
$\alpha$	Угол подъема нарезки винта	град	5,5	5,8	5,8	5,8	5,5	5,5	5,5	5,8	5,8	5,8	5,5	5,6	5,7	5,8
$\varphi$	Угол трения в нарезке винта	град	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$m$	Приведенная масса	т	160	180	180	160	150	150	150	160	170	180	180	170	160	160
$C_d$	Линейная жесткость механизма	$\frac{МН}{м}$	80	80	80	75	70	70	75	80	75	85	80	80	75	70
$L$	Длина выдвижения винта.	мм	150	150	150	130	130	140	140	150	150	160	160	155	155	150
$V_c$	Скорость поступательного движения винта при сведении захватов	мм/с	55	50	60	50	50	55	50	50	55	55	60	60	65	45
$V_p$	Скорость винта при разведении захватов	мм/с	90	80	100	80	80	90	80	80	90	90	100	100	ПО	80
$a$	Допустимое ускорение	мм/с <sup>2</sup>	90	80	100	80	80	90	80	80	90	90	100	100	ПО	90
$z$	Число циклов в час	-	50	50	60	60	70	70	65	65	55	55	45	45	50	55
$t_p$	Суммарное время работы, не более	с	10	11	10	10	10	10	11	11	10	11	10	10	10	11

## 4. Методические указания

Для разработки электропривода, удовлетворяющего требованиям технологического процесса и рабочей машины, необходимо:

- выявить и сформулировать предъявляемые к электроприводу требования;
- выбрать род тока электродвигателя и систему электропривода;
- выбрать электродвигатель;
- провести анализ системы электропривода: рассчитать статические и динамические характеристики, проанализировать их соответствие заданным;
- выбрать необходимое оборудование и аппаратуру.

Отметим особенности решения указанных задач в соответствии с их очередностью и разделами расчетно-пояснительной записки.

### 4.1. Технологическое описание механизма

На основании изучения литературы, относящейся к проектируемому объекту приводятся описание конструкции и технологического процесса механизма, кинематическая схема. По технической характеристике механизма (установки) и исходным данным к проекту должны быть сформулированы конкретные требования, предъявляемые к электроприводу со стороны технологического процесса и рабочей машины: 1) режим работы; 2) диапазон регулирования скорости; 3) необходимость получения пониженной скорости для точной остановки; 4) плавность регулирования скорости; 5) допустимые ускорения в переходных режимах; 6) требуемая жесткость механической характеристики и др.

Выработанные требования являются основанием для выбора рода тока и типа электродвигателя и системы электропривода.

### 4.2. Расчет статических нагрузок механизма.

Расчет статических нагрузок (усилие, момент, мощность) производится для каждого механизма по своим формулам, которые приведены в соответствующей литературе. Нагрузки считаются для каждого участка циклограммы работы механизма исходя из усилий, развиваемых рабочим органом. Значения усилий могут быть заданы косвенно, например, через вес перемещаемых грузов и коэффициент тре-

ния. Если передаточное число кинематической цепи можно определить или оно задано, то статические нагрузки приводят к валу электродвигателя. При этом следует иметь в виду:

1. направление потока энергии;
2. изменение величины потерь в передаче от передаваемой мощности.

Как правило, в литературе К.П.Д. передачи или редуктора приводятся при номинальной нагрузке. Для пересчета коэффициента при частичной нагрузке используются кривые К.П.Д. или соответствующая методика расчета К.П.Д.

К валу двигателя приводятся и моменты инерции механизма.

На основании величин скоростей, ускорений, расстояний передвижения рассчитывается продолжительность каждого участка циклограммы.

Для электроприводов механизмов передвижения величина допустимого ускорения проверяется по условию обеспечения необходимого запаса сцепления ведущего колеса с рельсом.

По окончании расчетов производят построение временных диаграмм скоростей и статической нагрузки механизма с учетом времени отдельных участков циклограммы или продолжительности включения, которые заданы в исходных данных.

#### *4.3. Выбор системы электропривода и предварительный выбор электродвигателя*

В данном разделе приводится обоснование выбора системы электропривода и типа электродвигателя на основе анализа сформулированных в первом разделе требований и электромеханических свойств двигателей.

Производится выбор способов, обеспечивающих требуемые значения статических и динамических показателей. К примеру, обеспечить постоянство ускорения при пусках с разными значениями статического момента можно: 1) при реостатном пуске с импульсным регулированием сопротивления в цепи якоря или в цепи выпрямленного тока ротора; 2) в системе УП-Д. И если диапазон регулирования скорости  $D \leq 3$  и к точности регулирования не предъявляются высокие требования, то можно остановиться на реостатном пуске и регулировании.

Приводится схема системы электропривода. При выборе типа электродвигателя и его исполнения необходимо учитывать назначение механизма, режим работы и условия окружающей среды.

Предварительный выбор электродвигателя по мощности и скорости (выбор типоразмера) производят по диаграммам нагрузки механизма. По ним находят средний или эквивалентный (среднеквадратичный) статический момент.

Номинальный момент выбираемого двигателя определяют с учетом влияния динамических режимов через коэффициент запаса  $k_{з,д} = 1,1 \dots 1,3$ .

При наличии в цикле работы пауз (участков отключения двигателя) необходимо определить режим работы. Для этого рассчитывается продолжительность включения (ПВ).

При  $t_{ц} \leq 10$  мин и  $15\% \leq ПВ \leq 70\%$  режим работы повторно-кратковременный. При ПВ 15% - кратковременный. Во всех остальных случаях двигатель выбирают как длительного режима с переменной нагрузкой.

Для повторно-кратковременного режима при отличии действительного ПВ от стандартного ПВ<sub>ст</sub> (15%, 25%, 40%, 60%), требуемый номинальный момент пересчитывают либо к ближайшему стандартному значению, либо к значению указанному в каталоге.

Для расчета требуемой номинальной мощности, в качестве расчётной скорости, принимают максимальное по скоростной диаграмме значение скорости.

Если в исходных данных отсутствует передаточное число редуктора расчет моментов (или усилий) и мощности производится без приведения к валу двигателя, но с учетом предлагаемого К.П.Д. редуктора.

Выбор редуктора и типоразмера двигателя, производится одновременно, причем по возможности необходимо ориентироваться на оптимальное по минимуму запаса кинетической энергии передаточное число.

Данные электродвигателя, выбранного по каталогу или справочнику [1, 20, 23] сводятся в отдельную таблицу.

#### *4.4. Расчет и построение скоростной и упрощенной нагрузочной диаграмм электропривода*

После предварительного выбора электродвигателя по мощности необходимо проверить его по нагреву и перегрузочной способности в первом приближении. С этой целью строится упрощенная нагрузочная диаграмма электропривода, которая не учитывает электромагнитные переходные процессы. В этом случае диаграмма строится в соответствии с решением уравнения движения для каждого участка циклограммы работы механизма.

Величина углового ускорения на валу двигателя определяется допустимым или требуемым ускорением механизма. Если оно не задано, то допускают, что переходные процессы протекают при максимально допустимом моменте электродвигателя.

Одновременно с нагрузочной диаграммой строится и скоростная. Диаграммы статического  $M_c(t)$ , динамического  $M_{дин}(t)$  моментов и скорости  $\omega(t)$  представляют в отдельных системах координат, но начала систем располагают на одной оси и масштаб времени выбирают одинаковым. Нагрузочная диаграмма электропривода  $M(t)$  строится путем графического суммирования  $M_c(t)$  и  $M_{дин}(t)$ . При построении диаграмм следует учитывать знаки моментов и скорости.

#### *4.5. Проверка электродвигателя по нагреву и перегрузочной способности*

По упрощенной нагрузочной диаграмме уточняется режим работы электропривода.

Для проверки электродвигателя по нагреву необходимо выбрать один из методов: средних потерь или эквивалентных величин (тока, момента, мощности) на основании анализа накладываемых на них ограничений.

При проверке электродвигателя по нагреву необходимо:

- учесть ухудшение условий охлаждения, если скорость двигателя на соответствующем участке отличается от номинальной;
- пересчитать средние потери или эквивалентные величины к стандартным значениям  $P_{вст}$  или  $t_{р.ст}$ .

Проверка электродвигателя по перегрузочной способности, а для асинхронных двигателей и по пусковому моменту проводится также по приближенной нагрузочной диаграмме.

Если эквивалентные величины превышают номинальные (недопустимый нагрев) или двигатель не проходит по перегрузочной спо-

способности, по каталогу выбирается двигатель большей мощности и расчеты повторяются.

#### *4.6. Выбор силового оборудования и расчет параметров системы электропривода*

В данном разделе определяются все необходимые параметры электропривода, которые применяются для расчета статических и динамических характеристик: активные сопротивления (приведенные к рабочей температуре), индуктивности и реактивные сопротивления, конструктивные постоянные и постоянные времени (с учетом всех инерционных элементов) и др. Для этого предварительно по каталогам и справочникам выбирается оборудование, изменяющее параметры цепей двигателя: пусковые, регулировочные и тормозные резисторы, неуправляемые или управляемые преобразователи, дроссели, трансформаторы.

Резисторы выбираются по току в цепях включения или по рассеиваемой мощности. Величины сопротивлений отдельных ступеней уточняется при расчете статических характеристик.

Преобразователь выбирается из условия обеспечения требуемых значений переменных двигателя: потребляемой мощности, тока, напряжения, частоты. Он должен иметь диапазон регулирования не менее требуемого.

#### *4.7. Расчет статических характеристик электропривода*

В данном разделе рассчитываются статические электромеханические и механические характеристики в объеме необходимом для выявления особенностей работы электропривода, построения нагрузочных диаграмм и для расчета переходных процессов. Характеристики определяются для двигательных режимов с учетом соответствующих способов регулирования и для тормозных.

Для разомкнутых систем с реостатным регулированием характеристики рассчитываются и строятся с одновременным определением пускорегулировочных и тормозных сопротивлений. Причем, переход с рабочей точки одной характеристики на рабочую точку другой должен происходить при бросках тока и момента в допустимых пределах. Количество ступеней пусковых и тормозных сопротивлений

определяется необходимым или допустимым ускорением электропривода.

Для разомкнутых систем с управляемым преобразователем получение характеристик начинается с естественной (при номинальных параметрах энергии, питающей двигатель) [2, 4, 9, 2]. В дальнейшем определяются характеристики, проходящие через рабочие точки электропривода.

Для замкнутых систем расчет также начинается с определения естественной характеристики. На основе ее показателей и требуемых показателей искусственных характеристик находятся коэффициенты передачи обратных связей и значения уставок отсечек для гибких обратных связей. Рассчитанные искусственные характеристики должны также проходить через необходимые рабочие точки электропривода.

#### *4.8. Расчет и анализ переходных процессов*

Расчет и анализ переходных процессов за цикл работы механизма позволяет определить продолжительность процессов, закон изменения скорости, возникающие ускорения, путь проходимый рабочим органом, а также позволяет провести уточненную проверку двигателя по нагреву и перегрузочной способности. Выбор метода расчета зависит от системы электропривода, вида механических характеристик двигателя и механизма, соотношения постоянных времени.

Статический момент, в большинстве случаев, можно считать постоянным на отдельных участках технологического цикла. При линейной механической характеристике двигателя или нелинейной, но аппроксимируемой несколькими отрезками прямых с погрешностью менее 10%, следует использовать аналитические методы расчета. Если для разомкнутых систем соотношение постоянных времени  $T_M \gg T_\theta$  (в 5 – 10 раз), то можно рассматривать только механический переходной процесс.

Когда механическая характеристика не поддается линеаризации или число отрезков аппроксимации больше трех, используются графоаналитические методы.

Для асинхронных электроприводов с управляемыми вентильными преобразователями в ряде случаев, к примеру, при скольжении больших значениях критического моделирования.

При аналитическом решении и математическом моделировании для каждого этапа переходных процессов должны быть представлены

исходные дифференциальные управления, которые описывают систему электропривода. Показывается путь получения аналитических решений и нахождение начальных и установившихся значений.

Результатами расчета переходных процессов являются зависимости угловой скорости и момента от времени:  $\omega(t)$  и  $M(t)$ . При необходимости определяется зависимость тока  $I(t)$ .

#### *4.9. Окончательная проверка электродвигателя*

Для окончательной проверки двигателя по нагреву и перегрузочной способности должны быть построены уточненная нагрузочная диаграмма  $M(t)$  или  $I(t)$  с учетом переходных процессов, диаграмма потерь мощности  $\Delta p(t)$  и скоростная  $\omega(t)$  за весь цикл работы механизма.

Порядок проверки электродвигателя аналогичен рассмотренному в разделе 4.5 (данных указаний).

Кроме проверки электродвигателя по нагреву и перегрузочной способности необходимо проверить электродвигатель и на значения ускорений. Для этого участки кривой скорости  $\omega(t)$  дифференцируют и сравнивают максимальное значение ускорения  $\varepsilon_{\max}$  с допустимым  $\varepsilon_{\text{доп}}$ .

#### *4.10. Расчет энергетике электропривода*

В данном разделе рассчитываются потери мощности в электроприводе, расход энергии и средний К.П.Д. за цикл работы механизма.

Потери мощности считают без учета потерь в преобразователе с учетом способов регулирования. После расчета строят график потерь мощности за цикл.

Расход электроэнергии за цикл также рассчитывается по участкам.

#### *4.11. Составление схемы управления и выбор аппаратуры*

В данном разделе на основании циклограммы работы механизма составляет релейно-контакторная схема автоматизированного управления электроприводом из типовых схем управления.

По заданию руководителя схема управления может быть построена на типовых логических элементах.

В разделе обосновываются принятые схемы решения, выбирается аппаратура. Приводится описание работы схем.

Спецификация составляется на основе оборудования и аппаратура управления.

#### *4.12. Заключение*

В данном разделе формулируются краткие выводы по существу выполненной работы. Дается анализ показателей разработанного электропривода и их соответствие требуемым.

## 5. Рекомендуемая литература

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболевская. - М.: Энергоиздат, 1982.
2. Борисов Ю.М., Соколов М.М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1971.
3. Дранников В.Г., Звягин И.Е. Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин. - М.: Высшая школа, 1973.
4. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
5. Зеленков А.В. Тертичников В.Н., Гулякин В.Г. Электропривод механизмов прокатных станов. - Харьков: Metallurgizdat, 1983.
6. Капунцов Ю.Д., Елисеев Ю.А., Ильяшенко Л.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок. - М.: Высшая школа, 1979.
7. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1980.
8. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. В.М. Перельмутера. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. - М.: Metallurgiya, 1985.
10. Крановое электрооборудование: Справочник / Алексеев Ю.В., Богословский А.П. и др. - М.: Энергия, 1979.
11. Павлов Н.Т. Лифты и подъемники. - М.: Машиностроение, 1965.
12. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Иванченко Ф., Бондарев В.С. и др. - Киев: Виша школа, 1975.
13. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. - М.: Высшая школа, 1972.
14. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1976.
15. Соколов Н.Т., Елисеев В.А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. - М.: Высшая школа, 1970.
16. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Шинянского. - М.: Энергсатомиздат, 1983.
17. Справочник по электрическим машинам: В 2т. / Под ред. И.П.Копылова и Б.К.Клокова. - М.: Энергоатомиздат. Т.1 – 1988. Т.2 – 1989.

18. Теория электропривода : учеб. пособие для вузов / Б.И. Фираго, Л. Б. Павлячик. - Изд. 2-е. - Минск : Техноперспектива, 2007. - 585с. : ил. - Библиогр.: с.581.
19. Теория электропривода : учебник для вузов / С.А. Ковчин, Ю.А. Сабинин. - Санкт-Петербург : Энергоатомиздат, 2000. - 496с. : ил. - Библиогр.: с.488-490.
20. Теория электропривода : учебник для вузов по спец. "Электропривод и автоматизация пром. установок" / В.И. Ключев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергоатомиздат, 1998. - 697с. : ил. - Библиогр.: с. 689.
21. Электротехнический справочник. В 3 т. - М.: Энергоиздат. Т.2. – Электротехнические устройства - 1981. Т.3. – Использование электрической энергии - 1982.
22. Яуре А.Т., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

## Содержание

1. Цель и задачи проекта.....	3
2. Задание на курсовую работу, требования к работе .....	4
3. Варианты заданий.....	7
4. Методические указания .....	19
4.1. Технологическое описание механизма.....	19
4.2. Расчет статических нагрузок механизма.....	19
4.3. Выбор системы электропривода и предварительный выбор электродвигателя.....	20
4.4. Расчет и построение скоростной и упрощенной нагрузочной диаграмм электропривода.....	21
4.5. Проверка электродвигателя по нагреву и перегрузочной способности .....	22
4.6. Выбор силового оборудования и расчет параметров системы электропривода.....	23
4.7. Расчет статических характеристик электропривода .....	23
4.8. Расчет и анализ переходных процессов .....	24
4.9. Окончательная проверка электродвигателя .....	25
4.11. Составление схемы управления и выбор аппаратуры.....	25
4.12. Заключение .....	26
5. Рекомендуемая литература.....	27

**Савельев Вадим Алексеевич**

## **ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**Методические указания  
к курсовой работе по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 24.04.13.

Рег. № 71Е.  
<http://www.gstu.by>