



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института

Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе дисциплины)
«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД»

основной профессиональной образовательной программы магистратуры
по направлению подготовки
13.04.02 ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Профиль программы
«ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»

ИНСТИТУТ
РАЗРАБОТЧИК

морских технологий, энергетики и строительства
кафедра энергетики

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

1.1 Результаты освоения дисциплины

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными компетенциями

Код и наименование компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями
ПК-1 Способен осуществлять техническое руководство процессом разработки проектов электроустановок и систем электроснабжения объектов капитального строительства, выполнять разработку и обоснование соответствующих технических решений с использованием методологического аппарата научных исследований и цифровых технологий	Автоматизированный электропривод	<i>Знать:</i> принципы построения систем автоматизированного электропривода; - функциональное назначение, принципы функционирования и основные тенденции развития элементной базы автоматизированного электропривода; - порядок и способы проведения технико-экономического анализа принятых решений в области автоматизированного электропривода. <i>Уметь:</i> выбирать технические данные и определять варианты возможных решений концепции системы электроснабжения с установками автоматизированного электропривода; - определять оптимальные параметры элементов автоматизированного электропривода, производить расчеты электромеханических систем для обеспечения заданных режимов работы. <i>Владеть:</i> методами построения функциональных схем автоматизированного электропривода; - навыками проверки принятых проектных решений проектной документации системы электроснабжения в части установок

		автоматизированного электропривода; - навыками управления режимами и задания оптимальных параметров систем частотно-регулируемого электропривода
--	--	---

1.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания открытого и закрытого типов;
- задания к курсовой работе (предусмотрены учебными планами очной и заочной формами обучения).

К оценочным средствам для промежуточной аттестации относятся:

- экзаменационные задания по дисциплине, представленные в виде тестовых заданий закрытого и открытого типов.

1.3 Критерии оценки результатов освоения дисциплины

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100 – балльную/процентную систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (табл. 2).

Таблица 2 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить но-

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	фрагменты информации в рамках поставленной задачи		поставленной задачи	вые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3 Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4 Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

1.4 Оценивание тестовых заданий закрытого типа осуществляется по системе зачтено/ не зачтено («зачтено» – 41-100% правильных ответов; «не зачтено» – менее 40 % правильных ответов) или пятибалльной системе (оценка «неудовлетворительно» - менее 40 % правильных ответов; оценка «удовлетворительно» - от 41 до 60 % правильных ответов; оценка «хорошо» - от 61 до 80% правильных ответов; оценка «отлично» - от 81 до 100 % правильных ответов).

Тестовые задания открытого типа оцениваются по системе «зачтено/ не зачтено». Оценивается верность ответа по существу вопроса, при этом не учитывается порядок слов в словосочетании, верность окончаний, падежи.

2 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

ПК-1: Способен выполнять работы по обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации и требуемых технологических режимов работы электроустановок и электротехнического оборудования.

Тестовые задания открытого типа

1. Автоматизированный электропривод – регулируемый электропривод с ... регулированием параметров

Ответ: автоматическим

2. Следящий электропривод – автоматизированный электропривод, отрабатывающий перемещение исполнительного органа машины в соответствии с ... сигналом задания

Ответ: произвольно изменяющимся

3. Автоматизированный электропривод, предназначенный для регулирования положения рабочего органа машины называется ... электроприводом

Ответ: позиционным

4. Механизм приводится в движение электродвигателем с числом оборотов $n_N=1000$ об/мин. Номинальная угловая скорость вращения электрического двигателя ω_N равна ... рад/с

Ответ: 104,67

5. Механизм приводится в движение электродвигателем при помощи глобоидного редуктора. Число оборотов электродвигателя $n_N=1000$ об/мин, передаточное число редуктора $i=28,5$. Угловую скорость вращения механизма $\omega_{\text{мех}}$ равна ... рад/с

Ответ: 3,67

6. Наиболее перспективный и широко внедряемый в настоящее время способ регулирования скорости асинхронного двигателя – ...

Ответ: Частотный способ регулирования

7. Асинхронный электродвигатель имеет 4 полюса, учитывая, что номинальное скольжение $s = 5 \%$ номинальную скорость вращения электрического двигателя ω_N равна ... рад/с

Ответ: 99,44

8. При регулировании частоты вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения изменением потока возбуждения жесткость электромеханических характеристик при уменьшении потока ...

Ответ: уменьшается

9. Напряжение статорной обмотки и крутящий момент M асинхронного электродвигателя при снижении амплитуды напряжения статорной обмотки на 20% от номинального $M_N = 5,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $U_1 = 380 \text{ В}$) равны ...

О

10. Номинальные технические данные двигателя: $P_n=18,5 \text{ кВт}$, $\eta=88 \%$. Потери двигателя ΔP в номинальном режиме составляют $\Delta P = \dots$ Вт

Ответ: $\Delta P = \frac{P_n(1-\eta)}{\eta} = 2522,7$

11. Завышение мощности при выборе электродвигателя приводит к ... энергетических показателей

Ответ: ухудшению (снижению)

12. Изменением ... возможно изменять скорость холостого хода двигателя постоянного тока независимого возбуждения вверх от номинальной

Ответ: магнитного потока

13. Критический момент асинхронного двигателя квадратично зависит от величины приложенного ...

Ответ: напряжения

14. При снижении частоты сети частота вращения синхронного двигателя ...

Ответ: уменьшается

15. Частота напряжения асинхронного электродвигателя при питании от регулятора напряжения ...

Ответ: не изменяется (равна частоте сети)

16. Преобразователь постоянного напряжения в переменное называется...

Ответ: инвертор

17. Электропривод в котором от одного электродвигателя приводится в движение несколько рабочих машин или несколько исполнительных механизмов называется ...

Ответ: групповой

18. Машина переменного тока, у которой частота вращения ротора отстает от частоты вращения магнитного поля статора называется ...

Ответ: асинхронной

19. Момент синхронного двигателя пропорционален ... степени напряжения сети

Ответ: первой

20. Экономически выгодный и широко применяемый способ регулирования скорости асинхронного двигателя – ...

Ответ: частотный

21. Преобразование электрической энергии переменного тока в постоянный осуществляется посредством ...

Ответ: выпрямителя

22. Автоматизированный электропривод, обрабатывающий перемещение исполнительного органа машины в соответствии с произвольно изменяющимся сигналом задания называется ...

Ответ: следящий

23. Механическая характеристика, которая получена при номинальных значениях двигателя называется ...

Ответ: естественная

24. Момент механизма с вентиляторной характеристикой пропорционален ... степени угловой скорости

Ответ: второй

25. Момент асинхронного двигателя пропорционален ... степени напряжения сети

Ответ: второй

26. Механическая характеристика двигателя постоянного тока независимого возбуждения является ...

Ответ: линейной

27. Способ скалярного частотного регулирования координат асинхронного электродвигателя предполагает одновременно с частотой питающего напряжения изменение

Ответ: амплитуды напряжения

28. Для регулирования координат электропривода с синхронными электродвигателями применяются

Ответ: преобразователи частоты

29. Активный момент статического сопротивления ... от знака (направления) скорости

Ответ: не зависит

30. Зависимость частоты вращения вала двигателя от момента двигателя называется ...

Ответ: механической характеристикой

Тестовые задания закрытого типа

31. В крановом электроприводе плавкие предохранители применяют ...

1. для защиты цепей управления
2. для защиты силовых цепей и цепей управления
3. для защиты силовых цепей
4. не применяют

32. Аварийное отключение привода конвейера должно осуществляться в случае

1. работы конвейера свыше 24 часов без перерыва
2. затянувшегося пуска

- 3. снижения скорости ленты до 90% от номинальной
- 4. отсутствия загрузки конвейера

33. Режим работы электродвигателя, при котором превышения температуры всех частей электрической машины достигают установившихся значений называется

- 1. повторно-кратковременным
- 2. **продолжительным**
- 3. кратковременным
- 4. перемежающимся

34. Метод эквивалентной мощности для проверки выбранного электродвигателя применяют в случае когда

- 1. **скорость меняется незначительно**
- 2. магнитный поток постоянен
- 3. задана кривая тока
- 4. известны потери для каждой величины нагрузки

35. Занижение мощности электродвигателя приводит к

- 1. **снижению надежности работы двигателя**
- 2. повышению надежности работы двигателя
- 3. ускоренному старению изоляции
- 4. снижению показателей качества регулирования

36. Характерный режим работы конвейеров ...

- 1. кратковременный
- 2. повторно-кратковременный
- 3. **продолжительный**
- 4. перемежающийся

37. Характерный режим работы кранового электрооборудования ...

- 1. продолжительный
- 2. **повторно-кратковременный**
- 3. кратковременный
- 4. перемежающийся

38. Где расположены кнопки «приказа» пассажирского лифта?

- 1. в машинном отделении
- 2. в шахте лифта
- 3. на этажных площадках
- 4. **в кабине лифта**

39. Этажные переключатели лифтового оборудования относятся к ...

- 1. **аппаратуре управления лифтов**
- 2. защитным аппаратам
- 3. устройствам блокировки
- 4. системе электропитания

40. Электрооборудование лифтовой установки располагается ...

- 1. в машинном отделении
- 2. в машинном отделении и шахте лифта
- 3. **в машинном отделении, шахте и кабине лифта**

4. в машинном отделении, шахте, кабине и противовесе лифта

3 ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ, КУРСОВУЮ РАБОТУ/ КУРСОВОЙ ПРОЕКТ, РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

Учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы.

Курсовая работа связана с построением автоматизированного электропривода по системе управляемый преобразователь – двигатель, для одного из общепромышленных электроприводов (крановые механизмы, лифты, насосы, компрессоры и т. д.). Результаты выполнения курсовой работы оформляются в виде расчетно-пояснительной записки объемом 25 – 30 листов формата А-4 и графической части 1 – 2 листа формата А-1.

Задание на курсовую работу выдается руководителем индивидуально каждому студенту. Выданное задание подшивается в пояснительную записку сразу после титульного листа. Без листа задания студент не допускается к защите курсовой работы.

При выполнении курсовой работы рекомендуется использовать источники специализированной информации, соответствующие заданному типу общепромышленного механизма, самостоятельно или проконсультировавшись у руководителя производить подбор специальной литературы, а также использовать литературу, приведенную в списке основной. Для студентов, желающих углубленно изучать дисциплину «Автоматизированный электропривод» и расширить рамки своей курсовой работы рекомендуется кроме основной и специальной литературы использовать дополнительные источники информации.

ЗАДАНИЕ

к курсовой работе по дисциплине «Автоматизированный электропривод»

Выдано студенту _____
(фамилия, имя, отчество)

Тема: _____

Исходные данные: _____

Срок сдачи студентом законченной работы: “__” _____ 20__ г.

Дата выдачи задания: “__” _____ 20__ г.

Студент _____
(подпись)

Руководитель _____
(подпись)

Содержание пояснительной записки

Задание на курсовую работу

Введение

1 Исходные данные

2 Краткое описание технологического процесса и особенностей технологической установки

3 Расчет статического момента сопротивления и момента инерции, тахограмма и построение нагрузочной диаграммы механизма

4 Формирование требований к электроприводу

5 Выбор типа и мощности ЭП, рода тока, типа двигателя и его номинальной скорости

6 Расчет передаточного числа редуктора и его выбор

7 Расчет приведенных к валу двигателя статических моментов сопротивления и моментов инерции, расчет коэффициентов жесткости системы, построение нагрузочной диаграммы и тахограммы электропривода

8 Проверка выбранного двигателя по нагреву и перегрузочной способности

9 Расчет и выбор параметров силовой части

10 Составление структурной схемы и расчет ее параметров

11 Расчет статических характеристик электропривода

12 Расчет переходных процессов

13 Анализ динамических свойств электромеханического преобразователя как объекта управления

14 Расчет энергетических показателей электропривода

Заключение

Литература

Перечень графических материалов

- Кинематическая схема механизма;
- Тахограмма и нагрузочные диаграммы;

- Структурная схема;
- Динамические характеристики системы ЭП;
- Статические характеристики системы ЭП.
- Функциональная схема системы управления ЭП;
- Принципиальная схема системы управления ЭП.

Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Автоматизированный электропривод»

Работу нужно начинать с изучения задания с целью выяснения того, что конкретно предстоит спроектировать, рассчитать, какие требования выполнить, подумать какими техническими средствами их можно выполнить, какие данные для расчета имеются, какие необходимо дополнительно найти. Следует примерно представить себе объем предстоящей работы, чтобы разумно спланировать время на ее выполнение.

Следующий очень важный этап – это изучение по литературе назначения, конструкции, кинематической схемы механизма и (особенно важно) технологического цикла работы механизма (возможно, во взаимодействии с другими механизмами). Одним из результатов этого изучения должно быть четкое представление о требованиях к электроприводу (сначала о главных, которые бы обеспечили отработку заданного технологического цикла), необходимо выбрать или построить желаемую тахограмму работы проектируемого электропривода. Четкое представление должно быть также о режимах работы привода, обо всех этапах цикла его действия, о формулах расчета статических нагрузок механизма и двигателя, о КПД и передаточном числе редуктора и механизма, о моментах инерции, приведенных к валу двигателя, о характерном, для данного механизма, соотношении инерционных масс механизма и ротора двигателя и т. д.

Построение нагрузочной диаграммы механизма и предварительный выбор мощности двигателя

Под нагрузочной диаграммой механизма понимается зависимость от времени момента или мощности статической нагрузки на валу двигателя за цикл работы механизма. Нагрузочная диаграмма механизма является исходным материалом для предварительного выбора двигателя.

а) Построение тахограммы (при заданном ускорении) и ее анализ

Для того чтобы лучше представить себе цикл работы механизма и оценить степень влияния на загрузку двигателя динамических нагрузок, целесообразно сначала построить (если задано ускорение и могут быть определены все элементы цикла) упрощенную

требуемую тахограмму (зависимость скорости от времени за цикл) движения производственного механизма, используя формулы равномерного ($l=vt$) движения и движения с постоянным ускорением ($l=at^2/2$; $v=at$) и данные из задания о скоростях движения, пути, допустимых ускорениях и времени пауз. Если задан путь L , проходимый механизмом на каком-то участке цикла с одним значением установившейся скорости $v_{уст}$, то время $t_{уст}$ установившегося движения определяется из равенства

$$L = \sum_{j=1}^i \frac{at_{n,nj}^2}{2} + v_{уст} t_{уст} \quad (1)$$

где $t_{п.п}$ – время ускорения или замедления (время переходного процесса);

j – число таких процессов.

Пример тахограммы для механизма подъема приведен на рис. 1, а.

На основании построенной тахограммы рассчитывают временные характеристики цикла: время цикла $T_{ц} = \Sigma t_{pj} + \Sigma t_{nj}$; продолжительность включения

$$ПВ\% = \frac{\Sigma t_{pj}}{\Sigma t_{pj} + \Sigma t_{nj}}, \quad (2)$$

где Σt_{pj} – суммарное время включенного состояния двигателя (его работы);

Σt_{nj} – суммарное время пауз;

j – число включенных состояний двигателя (равное числу пауз).

Для оценки влияния динамических нагрузок нужно сравнить суммарное время переходных процессов $\Sigma t_{пнк}$ с суммарным временем установившихся движений $\Sigma t_{устм}$ (k – число переходных процессов; m – число установившихся движений). Если $\Sigma t_{пнк} \ll \Sigma t_{устм}$ то влияние динамических нагрузок незначительно, и выбор двигателя можно производить по нагрузочной диаграмме механизма. Если значение $\Sigma t_{пнк}$ соизмеримо с $\Sigma t_{устм}$ или $\Sigma t_{пнк} > \Sigma t_{устм}$, то динамические нагрузки существенно влияют на загрузку двигателя или даже определяют ее. В этом случае при выборе двигателя следует учитывать не только статическую нагрузку, но и динамическую.

б) Построение упрощенной нагрузочной диаграммы механизма

В большинстве случаев можно строить и использовать для выбора двигателя

упрощенную нагрузочную диаграмму механизма, пренебрегая временем и путем при переходных процессах по причине их относительной малости по сравнению со временем установившегося движения (характерно для таких механизмов как насосы, вентиляторы, конвейер и т.п.). При этом рассчитывают лишь времена пауз и времена установившихся движений ($t = l/v$), считая, что весь путь механизм проходит при установившейся скорости.

1. Упрощенную нагрузочную диаграмму механизма используют в следующих случаях: $\Sigma t_{\text{пнк}} \ll \Sigma t_{\text{устм}}$; момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя, существенно меньше, чем момент инерции ротора двигателя (например, механизмы подъема кранов), но при относительно небольшой частоте включений (в этом случае обычно $\Sigma t_{\text{пнк}} \ll \Sigma t_{\text{устм}}$

Для упрощенной диаграммы механизма получим меньшие значения T_c и ПВ%, чем при учете переходных процессов, так как средняя скорость механизма возрастает, время работы уменьшается, а время пауз сохраняется.

Для каждого рабочего участка упрощенной нагрузочной диаграммы механизма рассчитывают статические момент (если задано передаточное число механизма и редуктора) или мощность (если передаточное число не задано), приведенные к валу двигателя: для случая работы привода в двигательном режиме

$$M_c = \frac{M_{c.mex}}{j\eta}; \quad (3)$$

$$P_c = \frac{P_{c.mex}}{\eta}; \quad (4)$$

для случая работы привода в генераторном режиме

$$M_c = \frac{M_{c.mex}}{j} \eta; \quad (5)$$

$$P_c = P_{c.mex} \eta. \quad (6)$$

В формулах (3) – (6): M_c , P_c – статические моменты и мощность на валу двигателя; $M_{c.mex}$, $P_{c.mex}$ – статические момент и мощность на выходном валу механизма (на выходе механизма);

$i = \frac{\omega_{db}}{\omega_{mex}}$ – передаточное число редуктора и механизма от вала двигателя к выходному валу механизма; η – КПД механизма и редуктора при данной текущей загрузке механизма (значение этого КПД берется из кривых КПД от загрузки для данного типа механизма, приведенных в

литературе, рекомендуемой в задании на проект).

Особый случай представляет расчет нагрузки при спуске грузозахватывающего приспособления для механизма подъема крана (см. литературу по электроприводу общепромышленных или крановых механизмов). Статические нагрузки механизма рассчитываются по формулам, приведенным в литературе, рекомендуемой в задании на проект.

Примеры упрощенных нагрузочных диаграмм приведены на рис. 2, а, б для механизма подъема груза. Для того же механизма на рис. 1, б, в приведены нагрузочные диаграммы, соответствующие тахограмме рис. 1, а, где учтены переходные процессы.

В том случае, когда цикл работы механизма не задан в деталях, а режим его работы характеризуется значением ПВ% и числом циклов в час или только значением ПВ%, строят условную нагрузочную диаграмму механизма, принимая цикл, при котором на первом участке со временем работы t_{p1} механизм работает с наибольшей нагрузкой, а на втором – с временем работы t_{p2} (после паузы t_n) – с наименьшей нагрузкой, после чего следует пауза t_n . Рассчитав время рабочих участков, можно найти суммарное время двух принимаемых равными пауз:

$$2t_n = (t_{p1} + t_{p2}) \frac{1 - \text{ПВ}\% / 100}{\text{ПВ}\%} 100. \quad (7)$$

Если отсутствуют данные для расчета t_{p1} и t_{p2} , то абсолютное значение их не рассчитывают, принимая лишь, что $t_{p1} = t_{p2}$. Соотношение между временем работы и временем паузы определяется заданным значением ПВ%. Пример такой условной нагрузочной диаграммы механизма приведен на рис. 3 для случая ПВ% = 60.

в) Расчет требуемой мощности двигателя по упрощенной нагрузочной диаграмме механизма

Этот расчет зависит от того, из какой серии предполагается выбирать двигатель и какого исполнения. При времени цикла $T_{ц} \ll 10$ мин выбирают двигатель из серии повторно-кратковременного режима, если же $T_{ц} \gg 10$ мин, то двигатель выбирают из серии продолжительного режима. Выбор исполнения двигателя зависит от условий окружающей среды и места расположения двигателя на механизме.

Двигатель повторно-кратковременного режима. В этом случае определяют по упрощенной нагрузочной диаграмме механизма значение ПВ% и среднеквадратичные значения момента

$$M_{c.k} = \sqrt{\frac{\sum M_{cj}^2 t_{pj}}{\sum \beta_{\omega j} t_{pj}}} \quad (8)$$

или мощности

$$P_{c.k.} = \sqrt{\frac{\sum (P_{cj} \frac{\omega_{ном}}{\omega_j})^2 t_{pj}}{\sum \beta_{\omega j} t_{pj}}}, \quad (9)$$

пересчитывая мощность на участках с пониженной угловой скоростью двигателя к его номинальной $\omega_{ном}$ скорости $(P_{cj} \frac{\omega_{ном}}{\omega_j})$ и учитывая ухудшение теплоотдачи двигателя при пониженной угловой скорости. Коэффициент $\beta_{\omega j}$ учитывающий ухудшение теплоотдачи, рассчитывается по формуле

$$\beta_{\omega j} \approx \beta_0 + (1 - \beta_0) \frac{\omega_j}{\omega_{ном}}, \quad (10)$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий ухудшение теплоотдачи при неподвижном роторе, $\beta_0 = 0,25 - 0,35$ для двигателей открытого и защищенного исполнения; $\beta_0 = 0,3 - 0,55$ для закрытых обдуваемых; $\beta_0 = 0,7 - 0,78$ для закрытых без обдува; $\beta_0 = 1$ для двигателей с принудительной вентиляцией.

При неизвестном передаточном отношении редуктора и механизма отношение $\frac{\omega_j}{\omega_{ном}}$ в формулах (9), (10) заменяется соответствующим отношением скоростей механизма.

Далее производится выбор мощности двигателя, удовлетворяющей соотношению

$$P_{ном(ПВном)} \geq k_3 P_{c.k.} \sqrt{\frac{ПВ_p}{ПВ_{ном}}}, \quad (11)$$

где $k_3 \approx 1,1 - 1,3$ коэффициент запаса, учитывающий влияние динамических нагрузок (принимается тем больше, чем большую долю от $\Sigma t_{устм}$ составляет $\Sigma t_{пнк}$ и других неучтенных при построении упрощенной нагрузочной диаграммы механизма и расчетах факторов;

$P_{\text{ном(ПВном)}}$ – номинальная мощность двигателя при стандартном значении $\text{ПВ}_{\text{ном}}$;

$P_{\text{ск}}$ – среднеквадратичная мощность, определенная по (9) при $\text{ПВ}_p\%$, или равная $P_{\text{ск}} = M_{\text{ск}} \omega_{\text{ном}}$, $M_{\text{ск}}$ определен по (8), а $\omega_{\text{ном}}$ – номинальная скорость двигателя, примерно равная $i \omega_{\text{мех.ном}}$.

Стандартное значение $\text{ПВ}_{\text{ном}}$ нужно брать ближайшее к расчетному ПВ_p .

Двигатель продолжительного режима. В этом случае расчет среднеквадратичных величин производят по формулам

$$M_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{\sum M_{\text{с.к.}}^2 t_{\text{pj}}}{\sum \beta_{\text{ож}} t_{\text{pj}} + \beta_0 \sum t_{\text{нк}}}}; \quad (12)$$

$$P_{\text{с.к.}} = \sqrt{\frac{\sum (P_{\text{с.к.}} \frac{\omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ж}}})^2 t_{\text{pj}}}{\sum \beta_{\text{ож}} t_{\text{pj}} + \beta_0 \sum t_{\text{нк}}}}, \quad (13)$$

а выбор мощности двигателя — по соотношению

$$P_{\text{ном}} \gg k_3 P_{\text{ск}}; \quad (14)$$

$$P_{\text{ном}} \gg k_3 \omega_{\text{ном}} M_{\text{с.к.}} \quad (15)$$

Выбранный по каталогу в соответствии с заданием (с учетом рода тока и напряжения) и формулой (11), (14), (15) двигатель проверяют по допустимой перегрузке. Если по этому условию двигатель не проходит, то нужно брать двигатель большей мощности, который пройдет по перегрузочной способности. Выбранный асинхронный короткозамкнутый двигатель необходимо еще проверить по пусковому моменту ($M_{\text{пуск}} > M_{\text{с}}$) и по допустимой частоте включений, сравнив ожидаемую частоту включений с допустимой паспортной.

Из каталога, справочника аккуратно выписываются: тип двигателя, паспортные номинальные данные, сопротивления обмоток (активные сопротивления нужно пересчитать к 75°C ; при увеличении температуры медной обмотки от 15 до 75°C ее активное сопротивление возрастает в 1,23 раза, а от 20 до 75°C – в 1,2 раза), параметры схемы замещения (для асинхронного двигателя), допустимые перегрузки, момент инерции ротора и т. д.

Если передаточное число редуктора механизма не было задано, то оно рассчитывается по номинальной угловой скорости двигателя, по скорости механизма и соответствующей

угловой скорости вала механизма $\omega_{\text{мехном}}$, принимаемых за номинальные (например, максимальная скорость перемещения, если все промежуточные скорости предполагается получить регулированием скорости двигателя вниз от номинальной). Предполагаем, что редуктор будет выполнен с требуемым передаточным числом.

Если передаточное число задано, то двигатель выбирается на номинальную скорость $\omega_{\text{ном}} \approx \omega_{\text{мех ном}}$.

г) Выбор мощности двигателя при больших динамических нагрузках

Если из анализа тахограммы следует, что величина $\Sigma t_{\text{пнк}}$ соизмерима с $\Sigma t_{\text{уст м}}$ или $\Sigma t_{\text{пнк}} > \Sigma t_{\text{уст м}}$ или заранее известно, что момент инерции механизма $J_{\text{мех}}$, приведенный к валу двигателя, много больше момента инерции двигателя $J_{\text{дв}}$ (привод перемещения моста крана, механизма поворота) или что частота включений двигателя большая при $J_{\text{мех}} < J_{\text{дв}}$, то выбор двигателя необходимо производить с учетом не только статических, но и динамических нагрузок.

Для учета динамических нагрузок нужно знать передаточное число механизма и редуктора и суммарный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя, в случае $J_{\text{мех}} < J_{\text{дв}}$, или момент инерции механизма $J_{\text{мех}}$ если $J_{\text{мех}} \gg J_{\text{дв}}$. Поэтому, если передаточное число механизма и редуктора не задано, то предварительно задаются номинальной угловой скоростью двигателя или производят предварительный выбор двигателя и определяют передаточное число.

При $J_{\text{мех}} < J_{\text{дв}}$ необходимо предварительно выбрать мощность двигателя либо по нагрузочной диаграмме механизма, взяв коэффициент запаса $k_z \approx 1,3$ в случае повторно-кратковременного режима и при наличии пауз, либо по наибольшей мощности нагрузки, введя коэффициент запаса $k_z \approx 1,2 - 1,3$ в случае перемежающегося режима с частыми реверсами, пусками и торможениями. Предварительно выбранный двигатель проверяется по нагреву и по перегрузке на основании упрощенной нагрузочной диаграммы двигателя (здесь упрощение заключается в постоянстве ускорений и замедлений), которая строится аналогично изложенному ниже для случая $J_{\text{мех}} \gg J_{\text{дв}}$, но в формулу (16) подставляется не $J_{\text{мех}}$, а J_{Σ} – суммарный момент инерции привода. Условие проверки двигателя по нагреву $M_{\text{ном}} \gg M_{\text{экр}}$. Если нет жестких требований к ускорению механизма или оно не задано, то проверку по перегрузке можно исключить, принимая при построении упрощенной нагрузочной диаграммы выбранного двигателя на участках разгонов и торможений момент двигателя, равный допустимому. Зная на этих участках момент двигателя, M_c и J_{Σ} , можно рассчитать угловое ускорение и время этих участков. Построенная таким способом нагрузочная диаграмма используется для проверки двигателя по нагреву.

При $J_{\text{мех}} \gg J_{\text{дв}}$ предварительный выбор двигателя не производится. Здесь двигатель выбирается на основе приближенной нагрузочной диаграммы, в которой не учтен динамический момент, затрачиваемый на разгон и торможение самого двигателя. Такая диаграмма строится по предварительно построенной тахограмме (рис. 4, а). Для каждого участка тахограммы рассчитывается момент статической нагрузки и строится нагрузочная диаграмма механизма (рис. 4, б). Потом рассчитываются динамические нагрузки (рис. 4) по формуле

$$M_{\text{дин}} = \pm J_{\text{мех}} \varepsilon_p, \quad (16)$$

где $J_{\text{мех}}$ момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя;

ε_p – допустимое или принятое расчетное угловое ускорение вала двигателя, определяемое по допустимому или принятому расчетному ускорению механизма и данным кинематической схемы механизма.

Далее, добавляя к нагрузочной диаграмме механизма динамическую нагрузку, строят приближенную нагрузочную диаграмму двигателя (рис. 4, в). На участках ускорений и замедлений моменты (статический и динамический) складываются алгебраически с учетом их знаков, определяемых соответственно энергетическим, режимом работы двигателя и знаком ускорения. По приближенной нагрузочной диаграмме двигателя рассчитывается эквивалентный (среднеквадратичный) момент по формуле (8) (где для каждого j -го участка вместо M_{cj} следует брать значение момента двигателя M_j) для двигателя повторно-кратковременного режима или по формуле для двигателя продолжительного режима

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum M_j^2 t_{pj}}{\frac{1+\beta_0}{2} \sum t_{n.n.k} + \sum \beta_{om} t_{yc.m} + \beta_0 \sum t_{ni}}}. \quad (17)$$

Выбор мощности двигателя производится в соответствии с формулами (11), (15) при $k_3 \approx 1,1$, учитывающем дополнительные динамические нагрузки, затрачиваемые на разгон и торможение самого двигателя, и другие неучтенные в расчетах факторы. Выбранный двигатель проверяется (уже с учетом его момента инерции) по допустимой перегрузке. Если по этому условию двигатель не проходит, то либо берут двигатель большей мощности, либо (если нет жестких требований к времени переходных процессов) уменьшают ускорение

механизма так, чтобы выбранный двигатель проходил по условию допустимой перегрузки.

Построение нагрузочной диаграммы двигателя и проверка его по нагреву и перегрузке

По окончании расчетов и определения времен переходных процессов и установившихся движений строится нагрузочная диаграмма двигателя – ток якоря (ротора), момента от времени, а также график угловой скорости от времени за цикл. Используя эти диаграммы, производят проверку выбранного двигателя по нагреву и по перегрузке. Если броски тока и момента не превышают допустимых, то двигатель проходит по перегрузке. Проверку по нагреву производят методом эквивалентного тока (допустимо использование и других методов при соответствующих ограничениях):

для двигателей из серии повторно-кратковременного режима

$$I_{ном(ПВ_{ном})} \geq \sqrt{\frac{\sum I_{эj}^2 t_{pj}}{\sum \beta_{эj} t_{pj}}} \sqrt{\frac{ПВ_p}{ПВ_{ном}}}; \quad (18)$$

для двигателей из серии продолжительного режима

$$I_{ном} \geq \sqrt{\frac{\sum I_{эj}^2 t_{pj}}{\sum \beta_{эj} t_{pj} + \beta_0 \sum t_{n.k}}}. \quad (19)$$

В этих формулах $I_{эj}$ – среднеквадратичное значение тока на участке диаграммы тока продолжительностью t_{pj} . Для асинхронных двигателей с фазным ротором проверка ведется по току ротора.

Проверку выбранного двигателя по нагреву можно не производить, если время переходных процессов составляет менее 10% от времени установившихся режимов $\Sigma t_{пнк} \ll 0,1 \Sigma t_{устм}$. Эти времена и значения $ПВ_p$ в формуле (18) подсчитываются по нагрузочной диаграмме двигателя.

Для вычисления значений $I_{эj}$ действительную криволинейную диаграмму тока заменяют ломаной линией, проходящей достаточно близко к действительной кривой. Для каждого наклонного линейного участка ломаной линии вычисляют значения $I_{эj}$ по формуле

$$I_{эj} = \sqrt{\frac{I_{1j}^2 + I_{2j}^2 + I_{1j} I_{2j}}{3}}, \quad (20)$$

где I_{1j} – ток в начале j -го участка I_{2j} – ток в конце j -го участка. На горизонтальных линейных участках $I_{\Sigma j} = I_j$, где I_j , – значение тока на этом участке.

Предварительно выбранный асинхронный короткозамкнутый двигатель при большой частоте включений следует проверять по нагреву методом средних потерь.

После выполнения всех указанных проверок нужно сделать заключение о пригодности предварительно выбранного двигателя для заданных механизма, и режима его работы и дать рекомендации по выбору другого двигателя, если предварительно выбранный по каким-то показателям не проходит.

Расчет и выбор параметров силовой части

Расчет и выбор параметров силовой части производится в соответствии с типом выбранного электропривода. Здесь необходимо рассчитать и выбрать: трансформатор (если применяется), корректно, используя известные методики, произвести выбор силового управляемого преобразователя. Для расчета рекомендуется использовать дополнительную специализированную литературу по выбранному типу преобразователя.

Составление структурной схемы и расчет ее параметров.

Расчет статических характеристик и переходных процессов электропривода.

Для выбранного электропривода в соответствии с математическим описанием каждого элемента строится структурная схема разомкнутой системы и производится расчет ее параметров. Затем необходимо ввести обратные связи по регулируемым координатам (например: M , ω), произвести настройку системы по принципу подчиненного регулирования в соответствии с требованиями предъявляемыми к данному электроприводу (технический или симметричный оптимум). Далее по структурной схеме настроенной системы электропривода рассчитать жесткость характеристик в замкнутой системе регулирования, для этого необходимо преобразовать структурную схему и получить зависимость вида:

$$\beta_{\Sigma}(p) = W_{\Sigma}(p) = \frac{M(p)}{\omega(p)}, \quad (21)$$

после этого приравнять $p=0$ и получить значение статической жесткости в замкнутой системе регулирования.

Статические механические характеристики могут быть построены по выражению:

$$M = \beta(\omega_0 - \omega). \quad (22)$$

Вид статических механических характеристик определяется типом используемого электродвигателя, а также способом управления.

Расчет переходных процессов рекомендуется производить на компьютере с применением специально разработанных программных продуктов.

После расчета переходных процессов необходимо произвести анализ динамических свойств электромеханического преобразователя как объекта управления. Оценить следующие показатели: время регулирования, время переходного процесса, перерегулирование, колебательность.

Расчет энергетических показателей электропривода

В этом пункте предполагается расчет и построение характеристик вида:

$$\eta = f(P_2); \quad (23)$$

$$\cos \varphi = f(P_2). \quad (24)$$

В заключении необходимо сделать краткие выводы по проделанной работе. Показать соответствии спроектированного автоматизированного электропривода с требуемым.

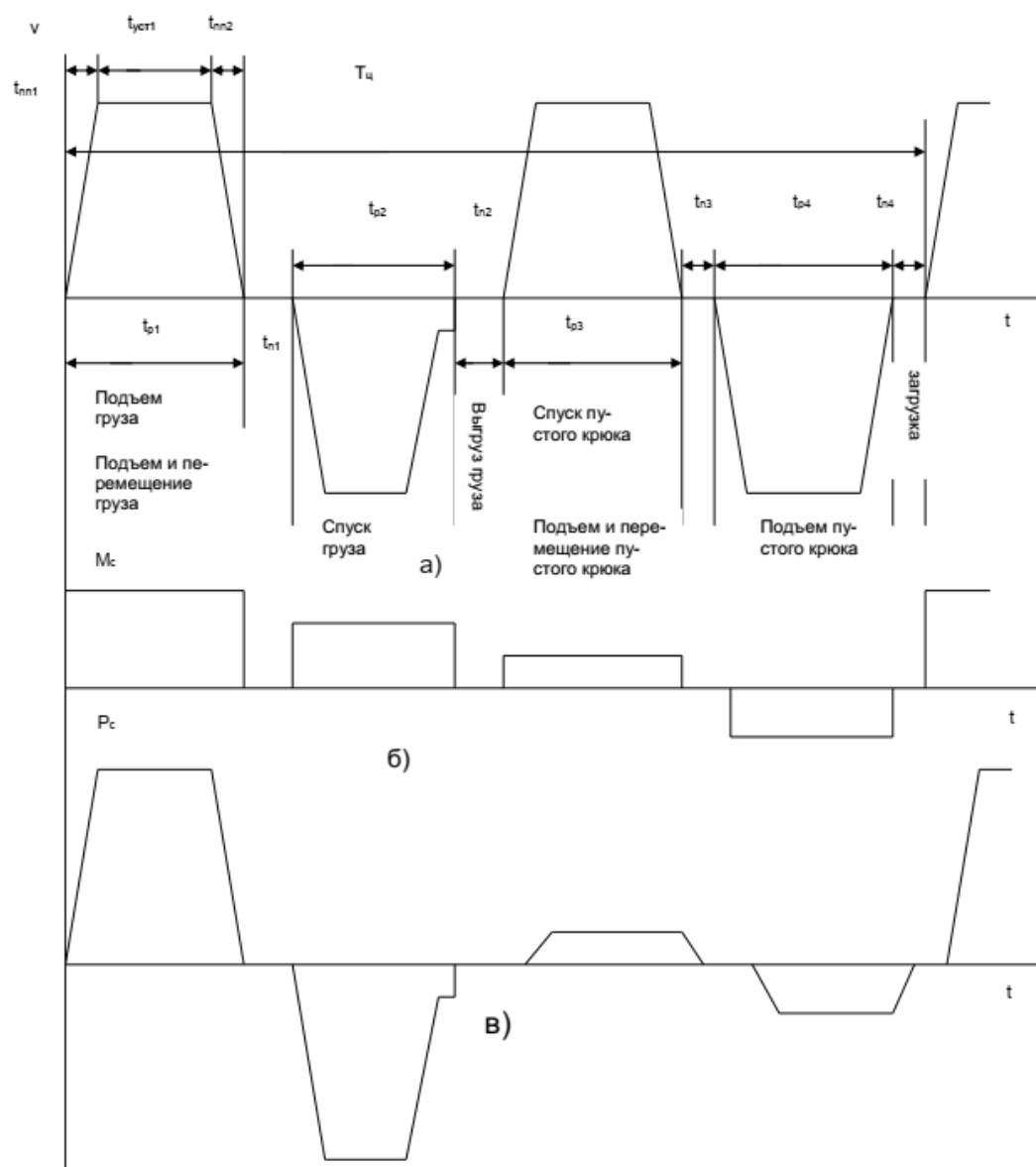


Рисунок 1 – Пример упрощенных тахограммы и нагрузочных диаграмм механизма подъема крана

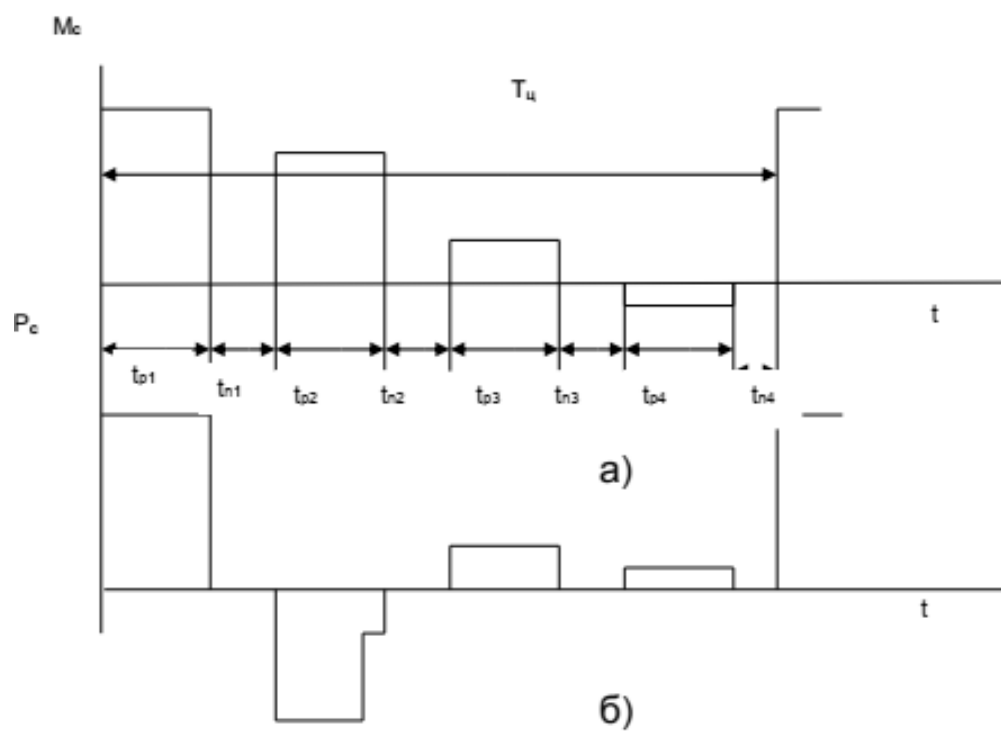


Рисунок 2 – Примеры упрощенных нагрузочных диаграмм

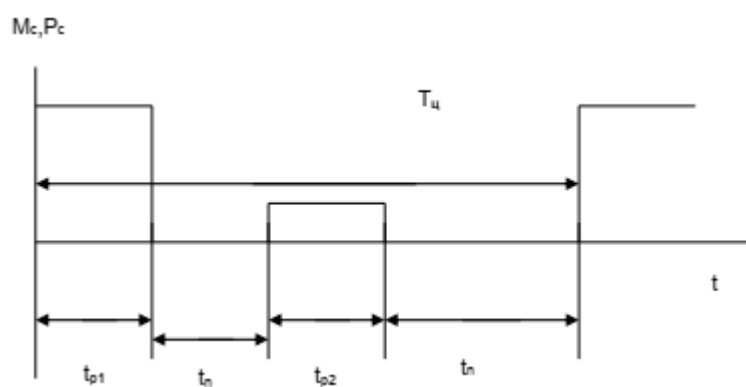


Рисунок 3 – Примеры упрощенных диаграмм статической нагрузки

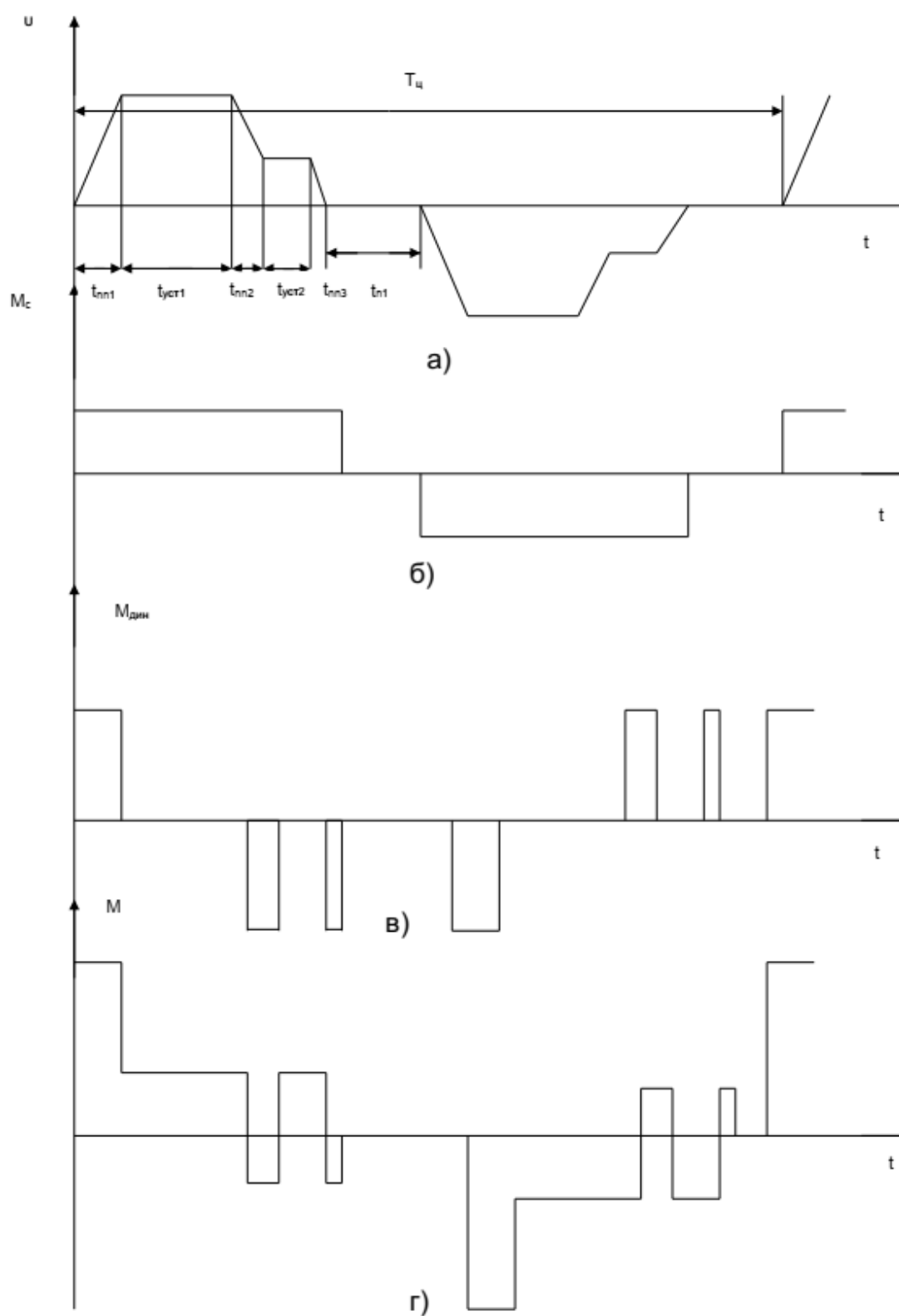


Рисунок 4 – Пример упрощенных тахограммы и нагрузочных диаграмм с учетом динамических нагрузок

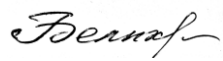
4 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Автоматизированный электропривод» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль Электроснабжение).

Преподаватель-разработчик – Кибартас В.В., канд. техн. наук, доцент кафедры энергетики.

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен заведующим кафедрой энергетики
Заведующий кафедрой  В.Ф. Белей

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства протокол № 6 от 26.08.2025.

Председатель методической комиссии ИМТЭС  О.А. Белых