

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Лысьвенский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Электрический привод»  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

**Направление подготовки:** 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Направленность (профиль)  
образовательной программы:** Автоматизированный электропривод и  
робототехнические комплексы

**Квалификация выпускника:** «Бакалавр»

**Выпускающая кафедра:** Общенаучных дисциплин

**Форма обучения:** Очная/заочная/очно-заочная

**Курс:** 3/4

**Семестр:** 6/7/7

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 5 3Е

Часов по рабочему учебному плану: 180 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен: 6/7/7 семестр

Курсовой проект: 6/7/7 семестр

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (6-го семестра учебного плана очной формы обучения; 7-го семестра учебного плана очно-заочной и заочной форм обучения) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические занятия и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, практическим занятиям, защиты курсового проекта и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий	Рубежный		Итоговый	
		ТО	ОПЗ	ОЛР	Курсов ой проект
<b>Усвоенные знания</b>					
<b>3.1</b> Знать назначение, элементную базу, характеристики и регулировочные свойства электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока	ТО-1, 2				ТВ
<b>3.2</b> Знать схемотехнические решения и методы стандартных испытаний электроприводов различного назначения	ТО-1,2,3,4,5				ТВ
<b>3.3</b> Знать математическое описание переходных и установившихся процессов электропривода	ТО-19,20,21				ТВ
<b>3.4</b> Знать основные методы и принципы расчёта потерь энергии и энергетических показателей систем электропривода	ТО-14,15,16,17,18				ТВ
<b>3.5</b> Знать устройство, основные понятия, принципы, параметры, электромеханические свойства и характеристики систем электропривода для осуществления сравнительного анализа и выбора электромеханических и преобразовательных устройств	ТО-3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13				ТВ

<b>3.6</b> Знать состав и требования, предъявляемые к отчётной технической документации на различных этапах проектирования систем электропривода	ТО-22,23,24				ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
<b>У.1</b> Уметь применять инженерные методы расчета и выбора элементов, входящих в состав разрабатываемой системы электропривода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	3	ПЗ
<b>У.2</b> Уметь производить разработку электрических схем (функциональная схема, принципиальная схема, схема внешних подключений) проектируемого электропривода на основе выбранной элементной базы			ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3		ПЗ
<b>У.3</b> Уметь применять, эксплуатировать и производить выбор электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1	3	ПЗ
<b>У.4</b> Уметь формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде научно-технического отчёта с его публичной защитой			ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	3	ПЗ
<b>У.5</b> Уметь производить анализ технических требований, предъявляемых к проектируемому электроприводу, и на основании проведенного анализа принимать рациональные схемотехнические решения по его проектированию		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	3	ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>					
<b>В.1</b> Владеть методами расчета переходных и установившихся процессов в системах электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3 ОЛР-4	3	КЗ
<b>В.2</b> Владеть навыками проведения стандартных испытаний систем электропривода			ОЛР-4		КЗ
<b>В.3</b> Владеть навыками нахождения и устранения неисправностей в несложных электрических схемах электромеханических систем			ОЛР-2 ОЛР-3		КЗ
<b>В.4</b> Владеть методами расчета, проектирования и конструирования систем электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3	3	КЗ
<b>В.5</b> Владеть методами расчета параметров электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-1 ОЛР-2 ОЛР-3	3	КЗ
<b>В.6</b> Владеть навыками исследовательской работы и методами анализа режимов работы электрического привода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3	ОЛР-4	3	КЗ
<b>В.7</b> Владеть навыками осуществления выбора мощности и типа электродвигателя и управляемого преобразователя для систем электропривода		ОПЗ-1 ОПЗ-2 ОПЗ-3		3	КЗ
<b>В.8</b> Владеть навыками использования основных программных и технических средств предпроектного обследования и проектирования объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования				3	КЗ

*ТО – теоретический опрос (коллоквиум); ОПЗ – отчет по практическому занятию; ОЛР – отчет по лабораторной работе; ТВ – теоретический вопрос; 3 – защита курсового проекта; КЗ – комплексное задание экзамена.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в форме защиты курсового проекта и экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ, практических занятий и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 4 лабораторные работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Защита практических занятий**

Всего запланировано 3 практических занятия. Типовые темы практических занятий приведены в РПД.

Защита практического занятия проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.3. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины.

#### **Типовые задания первой КР (Приложение 2)**

#### **Типовые задания второй КР (Приложение 2)**

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.4. Защита курсового проекта**

Примерные темы курсового проекта

Расчёт регулируемого электропривода производственной установки с двигателем постоянного тока в системе ТП – Д.

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты курсового проекта приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ, практических занятий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде защиты курсового проекта и экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Сформулировать уравнение движения электропривода.
2. Что представляют собой активный и реактивный моменты? Привести примеры. Момент холостого хода.
3. Естественные и искусственные электромеханические и механические характеристики ДПТ.
4. Естественные механическая и электромеханическая характеристики АД. Формулы Клосса. Искусственные механические характеристики АД. Тормозные режимы АД.
5. Что называется естественной и искусственной статической механической, электромеханической характеристикой двигателя постоянного тока независимого

возбуждения? Привести примеры семейств искусственных механических (электромеханических) характеристик а) при введении добавочного сопротивления в цепь якоря, б) при изменении напряжения, в) при изменении магнитного потока.

6. Как изменится ток якоря и скорость его вращения (установившиеся значения), если увеличить (уменьшить) величину добавочного сопротивления в цепи якоря (возбуждения) ДНВ при неизменном моменте на валу?

7. Координаты скольких точек необходимо знать для расчёта и построения естественной или искусственной механической характеристики ДНВ?

8. Какой из тормозных режимов двигателя постоянного тока независимого возбуждения, является генераторным? У каких тормозных режимов КПД равно нулю?

9. Пояснить понятия жесткости механических характеристик, какова по знаку и модулю статическая жёсткость механической характеристики ДНВ?

10. Какое уравнение асинхронного двигателя называют формулой Клосса?

11. Как влияет на величины пускового тока и пускового момента включение в цепь ротора асинхронного двигателя активного добавочного сопротивления.

12. Что называется естественной и искусственной статической механической, электромеханической характеристикой асинхронного двигателя? Привести примеры семейств искусственных механических характеристик: а) при введении добавочного активного сопротивления в цепь статора; б) при введении добавочного активного сопротивления в цепь ротора; в) при изменении напряжения; г) при изменении частоты питающего напряжения.

13. Привести механические характеристики и пояснить условия перевода и схему включения АД в тормозных режимах: а) противовключения; б) рекуперативного торможения; в) динамического торможения.

14. Изменяется ли критический момент и скольжение, если уменьшить напряжение на обмотке статора на 10% при  $f_1 = f_n$ ?

15. Понятие о переходных процессах электроприводов, факторы, влияющие на характер переходного процесса, классификация переходных процессов, методы анализа.

16. Электромеханические переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при  $\omega_0 = \text{const}$  и  $M_C = \text{const}$  при пуске и торможении.

17. Для ограничения тока при пуске или торможении до допустимых значений в цепь якоря или ротора двигателя вводится добавочное сопротивление. Какой постоянной времени можно пренебречь на пусковых характеристиках?

18. Перечислить основные причины возникновения переходных процессов в системах электропривода

19. Какие виды инерции оказывают влияние на характер протекания переходных процессов и какими постоянными времени они характеризуются?

20. Система генератор-двигатель (Г-Д). Принципиальная схема системы, её основные элементы. Уравнения, структурные схемы, статические механические характеристики, режимы работы. Основные технико-экономические показатели.

21. Система Г-Д работает в режиме рекуперативного торможения. Какая машина и какую составляющую мощности возвращает в сеть за вычетом суммарных потерь мощности?

22. Изобразить принципиальную схему и семейство механических характеристик системы Г-Д. Пояснить в каких режимах и квадрантах системы координат может работать система Г-Д. Как осуществить переход с одной характеристики на другую в двигательных и тормозных режимах.

23. Понятие о тахограммах и нагрузочных диаграммах механизмов и двигателей. Номинальные режимы работы (S1-S8).

24. Нагревание и охлаждение двигателей в номинальных режимах работы и выбор двигателя для кратковременного, продолжительного и повторно-кратковременного режимов работы.

25. Какие исходные данные необходимы для правильного выбора мощности электродвигателя для производственного механизма?

26. Дать определение понятию тахограммы и нагрузочной диаграммы механизма, привести примеры для механизмов непрерывного и циклического действия.

27. Дать определение и привести идеализированную нагрузочную диаграмму и кривую нагрева для номинальных режимов в работы а) кратковременного б) продолжительного в) повторно-кратковременного.

### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Кинематическая схема электропривода, сила и моменты, действующие в системе электропривода. Механические характеристики производственных механизмов.

2. Привидение переменных  $J$ ,  $M_c$ ,  $F_c$ ,  $c$ ,  $\varphi$  к расчётной скорости, расчётные схемы электропривода.

3. Переходные процессы электропривода с линейной механической характеристикой при одно- и много- ступенчатом пуске с  $\omega_0 = \text{const}$ ,  $M_c = \text{const}$ .

4. Переходные процессы электропривода с линейной механической при  $\omega_0 = \text{const}$ ,  $M_c = \text{const}$  в тормозных режимах.

5. Переходные процессы электропривода с линейной и нелинейной характеристикой при  $\omega_0 = \text{const}$  и  $M_c = f(\omega)$ .

6. Переходные процессы электропривода с линейной характеристикой при  $\omega_0 = f(t)$  и  $M_c = \text{const}$ .

7. Переходный процесс электропривода привода с двигателем независимого возбуждения при изменении магнитного потока.

8. Регулирование скорости АД в схемах с электромашинным и статическим преобразователями частоты. Система ТПЧ-АД.

9. Регулирование скорости АД при питании от тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

10. Принцип регулирования скорости АД в каскадных схемах и понятие об электрическом и электромеханическом каскадах.

11. Выбор двигателей по мощности при длительном (S1) режиме работы.

12. Выбор двигателей по мощности при кратковременном (S2) режиме работы.

13. Выбор двигателей по мощности при повторно-кратковременном (S3) режиме работы.

14. Предварительный выбор двигателей по мощности и проверка допустимой нагрузки по методу средних потерь.

15. Потери энергии при переходных режимах электроприводов и способы уменьшения потерь энергии.

#### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений**

1. Расчёт естественных и искусственных механических характеристик ДНВ и ДПВ.

2. Расчёт пусковых сопротивлений ДНВ и ДПВ.

3. Расчёт тормозных сопротивлений ДНВ и ДПВ.

4. Расчет пусковых сопротивлений для роторной цепи АД.

5. Задачи и способы регулирования скорости электроприводов с двигателями постоянного.

6. Проверка допустимой нагрузки двигателей по методам эквивалентного тока, момента, мощности. Выбор преобразователей для систем УП-Д.

Перечень типовых ситуационных заданий и кейсов для проверки умений и владений представлен в приложении 1. *Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

#### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзаменесчитается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде



интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

## Приложение 1.

### Типовые ситуационные задания и кейсы для проверки умений и владений

Комплексные практические задания предлагаются на основании выполненных индивидуальных заданий по модулям дисциплины и лабораторных работ, в том числе следующие:

#### Решить задачу

1. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения:  $P_n = 37$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 165$  А;  $n_n = 995$  об/мин;  $R_{\text{я}} = 0,17$  Ом.

Определить:

- 1) скорость идеального холостого хода  $\omega_0$ ;
- 2) номинальный электромагнитный момент  $M_n$ ;
- 3)  $I_{\text{п}}$  и  $M_{\text{п}}$  (пусковые ток и момент, если сопротивление пускового реостата  $0,4 R_n$ ).

2. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока параллельного возбуждения:  $U_n = 110$  В;  $I_n = 416$  А;  $I_{\text{вн}} = 6$  А;  $n_n = 980$  об/мин.  $R_{\text{я}} = 0,0152$  Ом. Данную машину используют в режиме ГПТ, вращая ее со скоростью  $n_1 = 1300$  об/мин.

Определить выходное напряжение  $U_r$  при номинальной нагрузке. Считать ток возбуждения независимым от режима работы машины.

3. Задача: Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа П81:  $P_n = 42$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 210$  А;  $n_n = 1470$  об/мин;  $\Phi_n = 0,0124$  Вб;  $k = 105,24$ ;  $J = 2,8$  кг·м<sup>2</sup>;  $I_{\text{вн}} = 1,64$  А. Определить:

- 1) скорость идеального холостого хода  $\omega_0$ , если двигатель работает при  $\Phi_1 = 0,7 \cdot \Phi_n$ ;
- 2) статическую скорость  $\omega_c$ , если двигатель работает с  $\Phi_1 = 0,7 \cdot \Phi_n$  и  $M = M_n$ ;
- 3) коэффициент жесткости механической характеристики  $\beta$  (при ослабленном потоке, см. выше);
- 4) коэффициент жесткости механической естественной характеристики  $\beta_E$ ;
- 5) электромеханическую постоянную времени  $T_m$  (на естественной характеристике);
- 6) электромеханическую постоянную времени  $T_m$  (при ослабленном потоке, см. выше);
- 7) добавочное сопротивление  $R_d$  в цепи ОВД для обеспечения режима работы с ослабленным полем (см. выше), считая  $\Phi \equiv I_B$ .

4. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения:  $P_n = 22$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 118$  А;  $\omega_n = 155$  с<sup>-1</sup>.

Определить величину добавочного сопротивления  $R_d$  в цепи якоря двигателя, если он работает в режиме рекуперативного торможения, имея координаты:  $\omega = 235$  с<sup>-1</sup>;  $M = 0,5 \cdot M_n$ . Определить мощность на валу машины.

5. Задача: Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа П61:  $P_n = 12$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 68$  А;  $I_{\text{вн}} = 1,25$  А;  $n_n = 1500$  об/мин.

Определить:

- 1) добавочное сопротивление  $R_d$  в цепи ОВД для обеспечения работы ЭП в режиме идеального х.х. со скоростью  $\omega_0 = 2 \cdot \omega_{0n}$ . Считать  $\Phi \equiv I_B$ ;
- 2) коэффициент ЭДС  $k\Phi$ ;
- 3) коэффициент жесткости искусственной механической характеристики  $\beta$ .

6. Задача. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения при работе на естественной характеристике имеет статическое падение  $\Delta n_e = 150$  об/мин, а на искусственной (реостатной) характеристике  $\Delta n_n = 600$  об/мин при прежней нагрузке на валу.

Определить величину добавочного сопротивления  $R_d$  в цепи якоря, если  $R_{\text{я}} = 0,2$  Ом.

2. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока параллельного возбуждения:  $U_n = 220$  В;  $I_n = 154$  А;  $\eta_n = 0,85$ ;  $n_n = 740$  об/мин;  $R_{\text{я}} = 0,112$  Ом. Двигатель работал с различными магнитными потоками:  $\Phi_1 = \Phi_n$ ;  $\Phi_2 = 0,8 \Phi_n$ ;  $\Phi_3 = 0,6 \Phi_n$ .

Требуется определить при указанных значениях магнитных потоков:

- 1) скорости идеального холостого хода;
- 2) скорости вращения двигателя при номинальной нагрузке по току.

7. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока параллельного возбуждения:  $P_n = 55$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 275$  А;  $R_{\text{об}} = 40$  Ом (при  $t = 15$  °С).

Какое добавочное сопротивление  $R_d$  необходимо включить в цепь якоря, чтобы получить кратность пускового тока, равную 2,5?

8. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения:  $P_n = 55$  кВт;  $U_n = 440$  В;  $I_n = 133$  А;  $n_n = 1480$  об/мин.

Определить:

- 1) сопротивление реостата, который необходимо включить в цепь якоря для обеспечения работы ЭП в режиме торможения противоключением в точке с координатами:  $M = 0,5 \cdot M_n$ ;  $\omega = -94,5$  с<sup>-1</sup>;
- 2) мощность, подведенную к валу двигателя со стороны РМ;
- 3) мощность, потребляемую из сети. Статический момент имеет активный характер.

9. Задача. Паспортные данные двигателя постоянного тока независимого возбуждения типа П51:  $P_n = 3,2$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 18,3$  А;  $k\Phi = 1,88$  В·с;  $T_m = 0,127$  с.

Определить:

- 1) момент инерции  $J$ ;
- 2) начальный ток в режиме динамического торможения, если  $\omega_{\text{нач}} = \omega_n$ ,  $R_T = 0$ ;
- 3) кратность начального тормозного тока;
- 4) во сколько раз начальный тормозной ток превышает допустимое по условиям коммутации значение.

10. Задача:

Определить скорость вращения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при номинальной нагрузке на валу в двигательном и рекуперативном режимах работы, если известно, что:  $R_d = 0,08$  Ом;  $R_{\text{я}} = 0,02$  Ом;  $\omega_0 = 90$  с<sup>-1</sup>;  $\omega_n = 83,7$  с<sup>-1</sup>.

11. Задача. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения работает на естественной характеристике. Номинальное напряжение двигателя равно 220 В. По результатам эксперимента установлено, что:

1) при  $I = 60$  А;  $\omega = 103$  с<sup>-1</sup>; 2) при  $I = 120$  А;  $\omega = 101$  с<sup>-1</sup>;

Определить:

- 1) скорость идеального холостого хода  $\omega_0$ ;
- 2) сопротивление якорной цепи  $R_{\text{я}}$ ;
- 3) ЭДС для первого случая  $E_1$ ;
- 4) ЭДС для второго случая  $E_2$ ;
- 5) момент для первого случая  $M_1$ ;
- 6) момент для второго случая  $M_2$ .

12. Задача. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения типа П51 имеет технические данные:  $P_n = 6$  кВт;  $U_n = 220$  В;  $I_n = 33$  А;  $n_n = 1500$  об/мин;  $J = 0,35$  кг·м<sup>2</sup>.

Определить:

- 1) электромеханическую постоянную времени  $T_m$ ;
- 2) номинальный момент на валу  $M_{\text{нв}}$ ;

- 3) момент холостого хода  $M_{хх}$ ;
- 4) добавочное сопротивление  $R_d$  в цепи якоря для обеспечения работы ЭП в точке характеристики с координатами:  $\omega = 0,7 \cdot \omega_n$ ;  $M_c = 0,5 \cdot M_{нв}$ .

13. Задача. АД имеет паспортные данные:  $R_2 = 0,0174$  Ом;  $n_n = 705$  об/мин. Двигатель работает на реостатной характеристике в точке с координатами:  $M = M_n$ ,  $\omega = 63$  рад/с.

Определить  $R_{доб}$  в цепи ротора и скольжение в указанном режиме работы.

Трехфазный шестиполосный АД работает в установившемся режиме при условиях:  $U_1 = 3$  кВ;  $I_1 = 18,5$  А;  $\cos\varphi = 0,87$ ;  $M_c = 730$  Н·м;  $n = 980$  об/мин.

Определить:

- 1) мощность на валу  $P_v$ ;
- 2) КПД  $\eta$ ;
- 3) скольжение  $s$ .

14. Задача: АДФР типа МТН-411-6 имеет паспортные данные:  $P_{1н} = 32,9$  кВт;  $U_n = 380$  В;  $n_n = 950$  об/мин;  $\eta_n = 0,82$ ;  $\cos\varphi_n = 0,77$ ;  $R_2 = 0,08$  Ом;  $X_2 = 0,233$  Ом;  $k_E = 1,46$ . (Примечание  $k_r = k_E^2$ ).

Определить:

- 1) номинальный ток статора  $I_{1н}$ ;
- 2) номинальную мощность  $P_n$ ;
- 3) линейное значение ЭДС обмотки ротора  $E_{2к}$ ;
- 4) приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора  $X'_2$ ;
- 5) приведенное активное сопротивление обмотки ротора  $R'_2$ ;
- 6) скольжение, если двигатель в режиме торможения противовключением имеет  $\omega_c = -0,3 \cdot \omega_n$ .

15. Задача. АДКЗР типа МТКФ-411-6 имеет паспортные данные:  $U_n = 380$  В;  $I_{1н} = 51,3$  А;  $\cos\varphi_n = 0,79$ ;  $\lambda_m = 2,6$ ;  $GD^2 = 1,9$  кг·м<sup>2</sup>.

Определить:

- 1) момент инерции двигателя  $J_d$ ;
- 2) номинальный ток намагничивания  $I_{мн}$ ;
- 3) активную составляющую тока статора  $I_{1а}$ ;
- 4) реактивную составляющую тока статора  $I_{1р}$ ;
- 5) номинальную мощность, потребляемую из сети  $P_{1н}$ .

16. Задача. АДКЗР типа МТКН-112-6 имеет данные:  $U_n = 380$  В;  $n_n = 900$  об/мин.;  $R_1 = 1,61$  Ом;  $X_1 = 1,14$  Ом;  $R'_2 = 2,19$  Ом;  $X'_2 = 1,12$  Ом.

Определить:

- 1) пусковой момент  $M_n$ ;
- 2) пусковой ток ротора  $I'_{2п}$ ;
- 3) критическое скольжение  $s_k$ ;
- 4) номинальный электромагнитный момент  $M_n$ ;
- 5) номинальную электромагнитную мощность  $P_{эн}$ .

17. Задача. АДКЗР типа МТКН-312-6 имеет данные:  $U_n = 380$  В;  $I_{1н} = 36,1$  А;  $n_n = 930$  об/мин;  $k_r = 0,36 \cdot 10^4$ ;  $R_1 = 0,337$  Ом;  $X_1 = 0,431$  Ом;  $R'_2 = 0,48$  Ом;  $X'_2 = 0,36$  Ом.

(Примечание  $k_r = k_E^2$ ).

Определить:

- 1) коэффициент трансформации ЭДС  $k_E$ ;
- 2) номинальный электромагнитный момент  $M_n$ ;

- 3) приведенный ток ротора  $I'_{2н}$ ;
- 4) действительное активное сопротивление обмотки ротора  $R_2$ ;
- 5) действительное индуктивное сопротивление обмотки ротора  $X_2$ .

18. Задача. АДКЗР типа МТКФ-311-6 имеет паспортные данные:  $U_n = 380$  В;  $n_n = 910$  об/мин;  $\lambda_m = 2,9$ ;  $R_1 = 0,48$  Ом;  $X_1 = 0,65$  Ом;  $R'_2 = 0,8$  Ом;  $X'_2 = 0,555$  Ом.

Определить:

- 1) критическое скольжение  $s_k$ ;
- 2) критический момент  $M_k$ ;
- 3) электромагнитную постоянную времени  $T_3$ ;
- 4) приведенное к обмотке статора значение тока ротора  $I'_{2н}$ ;
- 5) коэффициент жесткости механической характеристики  $\beta$ .

19. Задача. АДКЗР типа МТКН-411-6 имеет паспортные данные:  $U_n = 380$  В;  $R_1 = 0,22$  Ом;  $R'_2 = 0,33$  Ом;  $X_k = 0,62$  Ом;  $n_n = 935$  об/мин.;  $J_d = 0,475$  кг·м<sup>2</sup>. Данные механической части привода:  $J_m = 12$  кг·м<sup>2</sup>;  $j = 3$ ;  $\eta = 0,85$ .

Определить:

- 1) электромеханическую постоянную времени  $T_m$ ;
- 2) электромагнитную постоянную времени  $T_3$ ;
- 3) приведенный ток ротора  $I'_{2н}$ ;
- 4) номинальный момент электромагнитный  $M_n$ .

### **Критерии оценки ситуационных заданий**

**Оценка «пять» ставится, если обучающийся осознанно излагает и оценивает суть данной ситуации, с аргументацией своей точки зрения, умеет анализировать, обобщать и предлагает верные пути решения складывающейся ситуации.**

**Оценка «четыре» ставится, если обучающийся понимает суть ситуации, логично строит свой ответ, но допускает незначительные неточности при определении путей решения.**

**Оценка «три» ставится, если обучающийся ориентируется в сущности складывающейся ситуации, но нуждается в наводящих вопросах, не умеет анализировать и не совсем верно намечает пути решения ситуации.**

**Оценка «два» ставится, если обучающийся не ориентируется и не понимает суть данной ситуации, не может предложить путей ее решения, либо допускает грубые ошибки.**

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ РАБОТЫ НАД ЗАДАНИЯМИ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ И ИХ ОФОРМЛЕНИЮ

Рабочей программой по дисциплине «Электрический привод» для студентов предусмотрены самостоятельная работа, во время которой студенты должны выполнить ряд расчетных работ. В данных методических указаниях приводятся методика выполнения 2 контрольных работ в виде расчетных заданий:

- ❖ Задание 1. Расчет естественных и искусственных характеристик электропривода с двигателем постоянного тока.
- ❖ Задание 2. Расчет естественных и искусственных характеристик электропривода с асинхронным двигателем

Варианты двигателей к расчетному заданию №1 приведены в табл. 1, варианты исходных данных для расчетного задания №1 и №2 (коэффициенты) в табл. 2, а варианты двигателей к расчетному заданию №2 – соответственно в табл. 3. Студент выбирает тот вариант в каждом из заданий, номер которого совпадает с предпоследней цифрой его шифра, либо указанный преподавателем.

В целях облегчения работы после каждого задания приведены методические указания и сделаны ссылки на соответствующую литературу.

**Начинать работу, не представляя, что от Вас требуется, не следует.**

Необходимо внимательно разобраться в исходной информации, проработать соответствующий материал по рекомендованной литературе. Следует сразу же вести аккуратный черновик, для которого лучше всего подходит отдельная тетрадь или блокнот. Использование отдельных листков приводит чаще всего к их утере или к нарушению порядка расчетов и записей, которые трудно затем восстановить. Писать следует на одной стороне листа черновой тетради. Вторая сторона пригодится для дополнительных расчетов, замечаний, пересчетов.

Расчетные задания нужно выполнять в тетрадях или на стандартных листах писчей бумаги. Оформление выполненных заданий, условные обозначения величин и т.п. должны соответствовать ГОСТам, расчеты следует вести в системе СИ. При расчетах характеристик необходимо делать подробный расчет только для характерных точек каждой из них. Результаты остальных расчетов следует сводить в таблицу. При оформлении всех расчетов рекомендуется сначала писать расчетную формулу, затем – числовые значения величин, входящих в нее, и далее – конечный результат (с указанием размерности полученной величины). **Скобки в обозначении размерности не ставятся.** Если эти числовые значения берутся из графика или какой-либо таблицы, необходимо

делать на них соответствующие ссылки. Результаты всех аналогичных расчетов следует сводить в таблицы. Но каждый раз, когда в расчетную формулу будут входить величины с иными индексами или знаками, необходимо приводить эту формулу, подставляя в нее соответствующие цифровые значения, давать конечный результат, а результаты аналогичных расчетов сводить в таблицы. Целесообразно, получив таблицу, сразу же построить график искомой зависимости. Следует выбирать масштаб графиков, удобный для построения и считывания промежуточных значений связанных величин: лучше всего кратный 2, 5, 10.

Расчетные формулы и другие материалы, взятые из литературных источников, нужно давать со ссылкой на источник, указываемый в квадратных скобках номером, под которым этот источник значится в перечне литературы. В перечне необходимо указывать фамилию и инициалы авторов, название источника, издательство и год издания.

**Расчетные, принципиальные и структурные схемы, графики характеристик, временные диаграммы должны быть выполнены на миллиметровой бумаге, пронумерованы, иметь пояснительные надписи, в соответствующих местах на них необходимо делать ссылки. Все характеристики двигателей следует изображать на одном графике.**

В случае затруднений при выполнении контрольных заданий за консультациями следует обращаться непосредственно к преподавателю.

### **Контрольная работа №1**

Для электропривода постоянного тока с двигателем независимого возбуждения, тип и механические данные которого приведены в табл.1, требуется:

1. Определить параметры двигателя и изобразить его структурную схему, вместе с рассчитанными значениями параметров, записать уравнения динамической механической характеристики двигателя в осях  $\alpha$ ,  $\beta$ .

2. Рассчитать и построить естественные электромеханическую  $\omega = f(I_a)$  и механическую  $\omega = f(M)$  характеристики в абсолютных единицах.

3. Рассчитать и построить искусственные реостатные характеристики  $\omega = f(I_a)$  и  $\omega = f(M)$ , проходящие через точку  $C$  с координатами:  $\omega_{и} = y \cdot \omega_{н}$ ;  $M_{и} = b \cdot M_{н}$ , где  $y$ ,  $b$  –

коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2. Определить величину сопротивления, которое необходимо ввести в цепь якоря для обеспечения работы двигателя в заданной точке.

4. Рассчитать и построить искусственные характеристики  $\omega = f(I_{я})$  и  $\omega = f(M)$  двигателя при ослаблении магнитного потока. Характеристики должны проходить через точку  $C$  с координатами:  $\omega_{и} = y_1 \cdot \omega_{н}$ ;  $M_{и} = b_1 \cdot M_{н}$ . Значения коэффициентов  $y_1$  и  $b_1$  приведены в табл. 2.

5. Рассчитать и построить искусственные характеристики  $\omega = f(I_{я})$  и  $\omega = f(M)$  при пониженном напряжении на якоре. Характеристики должны проходить через точку  $C$  с координатами:  $\omega_{и} = y_2 \cdot \omega_{н}$ ;  $M_{и} = b_2 \cdot M_{н}$ . Значения коэффициентов  $y_2$  и  $b_2$  приведены в табл. 2.

6. Рассчитать и построить механическую характеристику  $\omega = f(M)$  двигателя при динамическом торможении, проходящую через точку  $C$  с координатами:  $\omega_{и} = y_3 \cdot \omega_{н}$ ;  $M_{и} = b_3 \cdot M_{н}$ . Значения коэффициентов  $y_3$  и  $b_3$  приведены в табл. 2. Определить величину тормозного сопротивления, на которое должен быть замкнут якорь двигателя.

7. Рассчитать величину тормозного сопротивления, которое следует включить в цепь якоря для перевода двигателя в режим торможения противовключением при  $I_{нач} = I_{доп} = 2 \cdot I_{н}$  и  $\omega_{нач} = 0,95 \cdot \omega_{н}$ .

8. Определить скорость двигателя при рекуперативном спуске груза и моменте двигателя, равном  $1,5 M_{н}$ . Работа на естественной характеристике.

9. Рассчитать и построить пусковую диаграмму двигателя при его пуске в 4 ступени. Определить пусковое сопротивление и сопротивление ступеней. Пуск форсированный, значение момента сопротивления  $M_c = M_{н}$ .



Таблица 1. Основные технические данные двигателей постоянного тока независимого возбуждения

Параметры	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип двигателя	Д12	Д21	Д31	Д41	П22	П32	П71	Д808	Д810	Д812
Номинальная мощность $P_H$ , кВт	2,5	4,5	6,7	15	1	2,2	19	37	55	70
Номинальное напряжение $U_H$ , В	220	220	440	440	220	220	220	220	220	440
Номинальный ток $I_H$ , А	14,6	26	19	40	5,9	12,0	103	192	282	176
Номинальная скорость $n_H$ , об/мин	1180	1030	875	710	1500	1500	1500	575	550	520
Номинальный ток возбуждения $I_{BH}$ , А	0,65	1,24	1,42	2,2	0,25	0,49	2,04	3,93	3,85	5,1
Сопротивление обмоток якоря и добавочных полюсов при $t_{окр.ср.}^0 = 20^0\text{C}$ $R_{я\sigma}$ , Ом	1,63	0,95	2,08	0,695	4,17	1,205	0,1235	0,054	0,0356	0,099
Сопротивление обмотки возбуждения $R_B$ , Ом	260	128	107	70	712	358	76,8	44,4	46,2	34,4
Максимально допустимая частота вращения $n_{макс}$ , об/мин.	3600	3600	3600	3000	3000	3000	2250	2300	2200	1900
Максимальный допустимый момент $M_{макс}$ , Нм	54	113	157	490	-	-	-	1655	2550	2750
Момент инерции $J$ , кг·м <sup>2</sup>	0,05	0,125	0,3	0,8	0,052	0,116	1,4	2,0	3,625	7,0
Число пар полюсов $p_{П}$	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2
Число пар параллельных ветвей, $a$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Число витков обмотки возбуждения $w$ на полюс	1800	1650	1700	1480	4800	3600	1250	1250	1500	1350
Число активных проводников $N$ якоря	990	920	1476	984	1728	936	396	278	234	418

**Примечание:** двигатели допускают увеличение скорости в 2 раза за счет ослабления магнитного потока. При этой скорости максимальный вращающий момент не должен превышать 0,8 для двигателей на 220 В и 0,64 для двигателей на 440 В.

**Сопротивления даны при температуре окружающей среды 20<sup>0</sup>С.**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ №1

К п.1. Структурная схема двигателя независимого возбуждения (точнее, электромеханического преобразователя с независимым возбуждением), соответствующая уравнениям, описывающим происходящие в нем процессы, и сами уравнения приведены в работах [1, 2, 3]. К параметрам, подлежащим определению, относятся:

$$L_B, T_B, R_{я\sigma}, L_{я\sigma}, T_{я}, \beta, k\Phi, M_H, E_H, \omega_H, \omega_0, J_H, \Phi_H.$$

Сопротивление якорной цепи приводится для двигателей типа Д к допустимой рабочей температуре  $t_{дон} = 150^{\circ}\text{C}$ , для двигателей типа П – к температуре  $t_{дон} = 90^{\circ}\text{C}$ . Температуру окружающей среды  $t_{окр. ср}$  следует принять равной  $20^{\circ}\text{C}$ .

$$R'_{я\sigma} = R_{я\sigma} \left[ 1 + \alpha \cdot (t_{дон}^0 - t_{окр. ср.}^0) \right],$$

где  $\alpha = 0,004$  – температурный коэффициент сопротивления.

Коэффициент насыщения магнитной цепи при определении индуктивности  $L_B$  обмотки возбуждения рекомендуется принять равным  $k_{нас} = 1,5$ .

Таблица 2. Значения коэффициентов  $y$  и  $b$

Номер варианта	$y$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$b$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
0	0	1,2	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	-1,0
1	0,5	1,45	0,3	1,0	0,5	1,2	1,0	-0,75
2	0	1,3	0,5	0,3	1,0	1,3	1,0	-1,0
3	-0,5	1,8	0,75	0,5	1,0	0,9	0,5	-0,5
4	0,3	1,4	0,4	0,2	0,3	1,2	0,8	-1,0
5	0,3	1,5	0,6	0,75	1,0	0,6	0,5	-1,5
6	0	1,95	0,7	0,3	1,5	0,9	0,6	-0,7
7	0,5	1,5	0,8	0,4	1,5	1,1	0,8	-1,5
8	-1,0	1,7	0,9	1,0	1,0	1,0	2,0	-0,75
9	-0,5	1,6	0,75	1,0	0,5	1,1	0,75	-1,0

К п.п. 2, 3, 4, 5, 6, 7: Методика расчета естественной и искусственной характеристик, тормозных и регулировочных сопротивлений, скорости изложена в работах [1, 2, 3].

К п. 8. Расчет пусковых сопротивлений необходимо выполнить аналитически. Напряжение питания и магнитный поток при этом следует считать номинальными.

## Контрольная работа №2

Для электропривода переменного тока с асинхронным двигателем с фазным ротором, тип и технические данные которого приведены в табл. 3, требуется:

1. Изобразить структурную схему для области рабочих скольжений и определить ее параметры, которые затем вставить в структурную схему.

2. Рассчитать и построить естественные статические электромеханическую  $I_2 = f(s)$  и механическую  $\omega = f(M)$  характеристики.

3. Рассчитать и построить реостатную характеристику двигателя, проходящую через точку  $C$  с координатами:  $\omega_{и} = y \cdot \omega_{н}$ ,  $M = b \cdot M_{н}$ , где  $y$  и  $b$  – коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2. Определить величину сопротивления, которое должно быть введено в цепь ротора, для обеспечения работы двигателя в заданной точке.

4. Рассчитать и построить (**на фоне естественной**) искусственную механическую характеристику при ненормальных параметрах питающей сети (принять пропорциональный закон регулирования  $\frac{U}{f_1} = const$ ). Коэффициент  $b$  взять из табл. 2.

5. Рассчитать и построить с учетом насыщения механическую характеристику в режиме динамического торможения при  $r_{2доб} = 0,5r_{2н}$  и постоянном токе возбуждения, величина которого указана в табл. 3, в долях от тока холостого хода.

6. Рассчитать пусковые характеристики и соответствующие им сопротивления при пуске в три ступени. Построить пусковую диаграмму. Проверить возможность пуска при  $M_c = 0,8M_{н}$ ,  $M_{н}$ ,  $1,5M_{н}$ .

**Примечание:** При расчете и построении механических характеристик по п.п. 2 – 4 максимальное значение скольжения выбирать равным  $s = 1,2 s_{кр}$ .

Таблица 3. Основные технические данные асинхронного двигателя с фазным ротором

Параметры	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Тип двигателя</i>	МТН-111-6	МТН-211-6	МТН-312-6	МТН-411-8	МТН-412-6	МТН-611-10	МТН-312-8	МТН-412-8	МТН-512-8	МТН-612-10
Номинальная мощность $P_n$ , кВт	3,5	8,2	17,5	18	36	53	13	26	45	70
Номинальное напряжение $U_{1н}$ , В	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
Номинальный ток статора $I_{1н}$ , А	11,6	24,6	43	48	87	128	34,7	72	104	165
Номинальная скорость $n_n$ , об/мин	870	900	945	695	955	560	690	710	695	560
Номинальная ЭДС ротора $E_{2н}$ , В	178	257	233	221	271	197	178	266	319	262
Номинальный ток ротора $I_{2н}$ , А	16,5	23	54	59	88	185	53	68	94	181
$\cos\varphi_n$	0,72	0,7	0,77	0,73	0,75	0,76	0,74	0,68	0,79	0,77
КПД $\eta_n$	0,65	0,73	0,81	0,84	0,845	0,87	0,78	0,805	0,85	0,85
Ток статора холостого хода $I_0$ , А	9,87	19	34,4	29,8	51,8	78,1	27,5	49,6	53,1	88,7
Максимальный момент на валу $M_{\max}$ , Н·м	83	196	471	635	932	2610	422	883	1370	3140
Активное сопротивление статора, $r_{1\text{действ}}$ , Ом	2,62	0,835	0,337	0,352	0,133	0,0855	0,534	0,202	0,103	0,06
Индуктивное сопротивление статора, $x_{1\text{действ}}$ , Ом	1,7	0,88	0,431	0,507	0,197	0,18	0,529	0,313	0,172	0,136
Активное сопротивление ротора, $r_{2\text{действ}}$ , Ом	0,671	0,466	0,125	0,125	0,059	0,0274	0,13	0,102	0,091	0,033
Индуктивное сопротивление ротора, $x_{2\text{действ}}$ , Ом	0,565	0,666	0,254	0,245	0,173	0,176	0,1825	0,231	0,356	0,133
Комплексный коэффициент $\sigma_1$	1,117	1,08	1,072	1,06	1,049	1,104	1,099	1,076	1,04	1,056
Коэффициент сопротивления $k_r$	4,54	2,18	2,66	2,96	1,96	3,72	4,54	2,03	1,415	2,1
Ток возбуждения в долях от $I_0$ , $k_B$	1,32	1,4	1,4	1,35	1,28	1,42	1,35	1,35	1,5	1,45
Момент инерции ротора $J$ , кг·м <sup>2</sup>	0,195	0,46	1,25	2,15	2,7	17	1,25	3,0	5,7	21
$\cos\varphi_0$	0,154	0,112	0,0916	0,086	0,071	0,08	0,106	0,084	0,08	0,06

*Примечание:* схема соединения обмоток статора и ротора – звезда. Активные сопротивления даны для нагретого двигателя.  
Номинальная частота сети – 50 Гц

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ № 2

К п. 1. Структурная схема асинхронного электромеханического преобразователя для области рабочих скольжений (линеаризованного в пределах рабочего участка статической механической характеристики) показана в работе [1]. К параметрам, которые нужно в первую очередь определить, относятся  $\omega_0$ ,  $s_{кр}$ ,  $R_1$ ,  $R'_2$ ,  $X_1$ ,  $X'_2$ ,  $X_K$ ,  $M_{кр}$ ,  $s_H$ ,  $\beta$ ,  $T_\varepsilon$ , где  $\beta$  – жесткость механической характеристики на линейном участке.

К п. 2, 3. Естественная механическая характеристика, которая рассчитывается по уточненной формуле Клосса. Методика расчета естественных характеристик  $\omega = f(M)$  и  $I'_2 = f(s)$  описана в работах [1, 2, 3].

Этой же литературой можно воспользоваться при расчете искусственной реостатной характеристики и величины добавочного сопротивления, которое следует ввести в цепь ротора для обеспечения работы двигателя в заданной точке.

К п. 4. При расчете искусственной характеристики, соответствующей ненулевым частоте и напряжению, следует иметь в виду, что  $\omega_0$ ,  $s_{кр}$ ,  $X_K$ ,  $M_{кр}$  при этих условиях изменятся. Их нужно предварительно определить. Характеристика рассчитывается по формуле Клосса. При расчете задаются скольжением.

К п. 5. Пример расчета механической характеристики для режима динамического торможения приводится в работе [1, §3.14, с.224]. Однако в этом примере дается универсальная кривая намагничивания для двигателя другого типа. Ниже приводится упрощенный вариант расчета.

Порядок расчета:

а) Рассчитывается добавочного сопротивления, включаемого в цепь ротора в режиме динамического торможения. Предварительно задаются величиной добавочного сопротивления, принимая его равным  $R_{2ДОБ} = 0,5 \cdot R_{2H}$ .

$$R_{2H} = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3} \cdot I_{2H}}; \quad R'_{2ДОБ} = R_{2ДОБ} \cdot \kappa_r \cdot \sigma_1^2.$$

б) Вычисляем значение ЭДС фазы статора

$$E_{1\phi} = E_{1H} = U_{1H\phi} \cdot \sqrt{\frac{\left(\frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_2'^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_K^2}}$$

в) Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_{1H}}{I_0 \cos \varphi_0}.$$

г) Критический момент для режима динамического торможения

$$M_{\kappa} = \frac{m_1 I_1^2 X_{\mu}^2}{2\omega_0 (X_{\mu} + X_2')},$$

Здесь  $I_1 = I_{\mu}$  принимаем для режима динамического торможения.

д) Относительная скорость вращения при критическом моменте.

$$v_{кр.дт} = \frac{R'_{2\Sigma}}{X_{\mu} + X_2'} = \frac{R_2' + R'_{2ДОБ}}{X_{\mu} + X_2'}.$$

е) Расчет самой механической характеристики может быть выполнен по выражению упрощенной формулы Клосса для режима динамического торможения

$$M = - \frac{2M_{\kappa}}{\frac{v}{v_{\kappa}} + \frac{v_{\kappa}}{v}},$$

где  $v = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{[0,005... \omega_i]}{\omega_0}$  – относительная скорость вращения.

К п.6. Расчет пусковой диаграммы и соответствующих ей сопротивлений выполняется графоаналитически по методике, изложенной в работах [1, 2, 3]. Характеристики считаются линейными.

*Примечание:* Для п. 2 все величины номинальные. Для п. 4  $\beta$ ,  $T_{\Sigma}$ ,  $M_{кр}$ ,  $\omega_0$ ,  $s_{кр}$ ,  $f_1$  необходимо пересчитать согласно заданным условиям.